

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Kvalitativní analýza rizik formule SAE

Qualitative Risk Analysis of Formula SAE

Student: Bc. Bolatzký Petr

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Bolatzký**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 20 Silniční doprava
Téma: Kvalitativní analýza rizik formule SAE
Qualitative Risk Analysis of Formula SAE

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Analýza platných pravidel formule FSAE z hlediska rizik
3. Stanovení vhodných metod pro analýzu rizik
4. Provedení analýzy vybrané části formule FSAE a návrhy pro snížení rizik
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Pravidla formule FSAE 2013
2. Virtuální vzdělávání v dopravě, dostupné na:
http://issuu.com/michdor/docs/m11_text?e=7481937/2859112
3. ČSN EN 60812: Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)
4. ČSN EN 61025: Analýza stromu poruchových stavů (FTA)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014


doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení Studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 19. 5. 2014

Handwritten signature in blue ink, reading "Bolalický Petr". The signature is written over a dotted line.

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 19. 5. 2014

Podpis 

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Bolatzký Petr

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Opavská 212, Velké Hoštice, 74731

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BOLATZKÝ, P. *Kvalitativní analýza rizik formule SAE: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014, 60s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá zlepšením bezpečnosti provozu formule SAE a také minimalizováním rizik nedokončení daného závodu. Budou zde řešeny tři funkční soustavy: brzdová, chladicí a palivová soustava formule. V teoretické části bude popsána metoda ALARP, dále pak analýza FTA a FMEA analýza, která slouží k rozeznávání způsobů poruch, jejich důsledků a příčin. V praktické části budou pomocí analýzy FTA zkonstruovány stromy poruch pro možné vrcholové události. Poté, se provede FMEA analýza pro primární události stromů poruch a zjistí se míra rizika jednotlivých poruch. V případě nežádoucí hodnoty rizika budou navržena taková opatření, aby se možné riziko snížilo. V závěru pak budou sepsána navržená opatření.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

BOLATZKÝ, P. *Qualitative Risks Analysis of Formula SAE: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of transportation, 2014, 60s. Thesis supervisor: doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Diploma thesis deals with improving traffic safety of Formula SAE and also with minimizing risks of dropping out of the race. It will be dealt with three functional systems: brakes, coolant and fuel system of formula. In theoretical part, method ALARP will be described, and then FTA and FMEA analysis, which is used for recognizing failure modes, their causes and consequences. In practical part, trees of failures for the top events according to FTA analysis will be designed and then the level of risk of single point failures will be determined. In case of adverse risk values, precautions will be suggested to lower possible risk. In the end, suggested precautions will be described .

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů:	8
1. Úvod	9
2. Analýza platných pravidel formule FSAE z hlediska rizik	10
2.1 Požadavky na konstrukci rámu z hlediska bezpečnosti	10
2.2 Kokpit řidiče	17
2.3 Brzdový systém	19
2.4 Systém chlazení	19
3. Stanovení vhodných metod pro analýzu rizik	20
3.1 Analýza rizika	20
3.1.1 Metoda ALARP	20
3.2 Analýza stromu poruchových stavů (FTA)	22
3.2.1 Konstrukce stromu poruch	23
3.3 Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA)	24
3.3.1 Postup provádění analýzy	25
3.3.2 Kvalitativní posouzení významnosti poruch	25
4. Provedení analýzy vybraných částí formule FSAE a návrhy pro snížení rizik	28
4.1 Brzdová soustava Formule FSAE	31
4.1.1 FTA analýza brzdové soustavy	32
4.1.2 FMEA analýza kotoučové brzdy	34
4.1.3 Matice rizik brzdové soustavy	38
4.2 Chladicí soustava Formule FSAE	39
4.2.1 FTA analýza chladicí soustavy	40
4.2.2 FMEA analýza chladicí soustavy	42
4.2.3 Matice rizik chladicí soustavy	44
4.3 Palivová soustava Formule FSAE	45
4.3.1 FTA analýza palivové soustavy	46
4.3.2 FMEA analýza palivové soustavy	48
4.3.3 Matice rizik palivové soustavy	50
5. Závěr	51

6. Seznam použité literatury:	53
7. Přílohy.....	55

Seznam použitých značek a symbolů:

ALARP	- as low as reasonably (rozumně dosažitelná hodnota rizika)
FMEA	- Failure Mode and Effect analysis (analýza způsobu a důsledků poruch)
FTA	- Fault tree analysis (analýza stromu poruch)
RPN	- Risk Priority Number (hodnota ukazatele významnosti)

1. Úvod

Stěžejním bodem celé diplomové práce je provedení FTA a FMEA analýzy pro brzdovou, chladicí a palivovou soustavu. Hlavním cílem je pak zvýšení bezpečnosti provozu formule SAE a minimalizování rizik, že daná formule nedokončí závod.

V úvodní části bude provedena analýza platných technických pravidel formule SAE z hlediska rizik, kde jsou popsány všeobecné požadavky pro jednotlivé konstrukční části formule.

Následně bude popsána analýza FTA, tzv. analýza stromu poruch, díky níž se zkonstruuují stromy poruch pro možné vrcholové události. Na tuto analýzu naváže FMEA analýza, která se bude zabývat primárními událostmi zkonstruovaných stromů poruch a bude rozeznávat možné způsoby poruch, jejich důsledky a příčiny. U těchto možných způsobů poruch se určí míra rizika a pomocí metody ALARP bude určeno, zda jde o vysoké riziko, nebo jde o zanedbatelné riziko, kde není potřeba žádného opatření. V případě, že nastane vysoká míra rizika poruchy, bude navrženo opatření ke snížení hodnoty rizika na co nejmenší úroveň. Poté se provede opětovné zhodnocení míry rizika a následně se provede posouzení poklesu míry rizika.

V závěru budou sepsána navržená opatření, která budou sloužit ke zvýšení bezpečnosti formule a snížení rizika nedokončení závodu.

2. Analýza platných pravidel formule FSAE z hlediska rizik

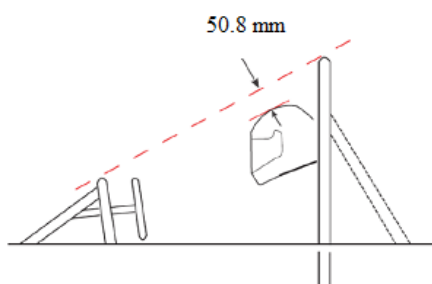
Kapitola je věnována platným technickým pravidlům formule FSAE pro její konstrukci z hlediska bezpečnosti. Jsou zde popsány důležité všeobecné požadavky na jednotlivé části formule, bez jejichž splnění by se tato formule nemohla soutěže účastnit.

2.1 Požadavky na konstrukci rámu z hlediska bezpečnosti

Všeobecné požadavky na hlavní a přední ochranné oblouky:

Hlavní ochranný oblouk je válcová tyč nacházející se po boku nebo těsně za trupem řidiče, tzv. hlavní oblouk. Přední oblouk je rovněž válcová tyč, ale nachází se nad nohama řidiče v blízkosti volantu.

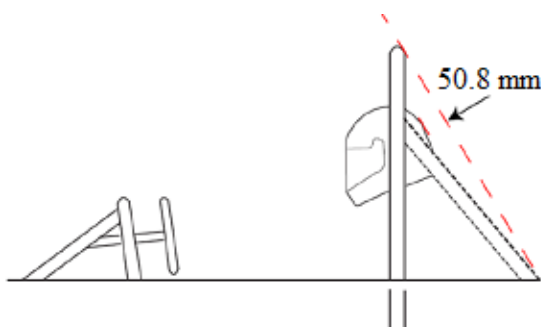
Hlavní ochranný oblouk a přední oblouk musí být zkonstruován dle níže znázorněného obrázku č. 1. Těmito dvěma prvky je zajištěno, že se řidičova hlava a ruce v jakékoliv poloze překlopení nedotknou země. [1]



Obr. č. 1: Požadavek na hlavní a přední ochranný oblouk [1]

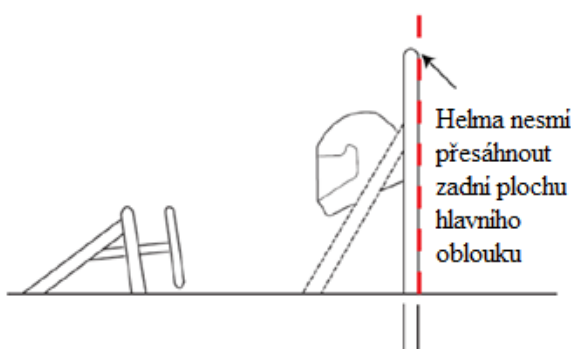
V případě že řidič sedí normálně upoután na řidičově zádržném systému, je nutné, aby jeho helma:

- byla vzdálena minimálně 50,8 mm od přímky zakreslené z nejvyššího místa hlavního oblouku k nejvyššímu místu předního oblouku, viz obr. č. 1.
- byla vzdálena minimálně 50,8 mm od přímky vedené z nejvyššího místa hlavního oblouku ke spodnímu konci podpory hlavního oblouku. Tento požadavek je platný v případě že se podpory rozšiřují směrem dozadu, viz obr. č. 2.



Obr. č. 2: Požadavek na zadní podpory hlavního oblouku [1]

- Jestliže se podpory hlavního oblouku rozšiřují směrem dopředu, nesmí helma přesáhnout zadní plochu hlavního oblouku, viz obr. č. 3



Obr. č. 3: Požadavek na přední podpory hlavního oblouku [1]

Řidiči, u nichž nejsou splněny uvedené požadavky například z hlediska velkého vzrůstu, se nebudou moci soutěže účastnit. [1]

Hlavní ochranný oblouk:

Hlavní oblouk jak již bylo výše zmíněno, je válcová tyč nacházející se po boku nebo těsně před trupem řidiče. Tato tyč musí být vyrobena z jednoho kusu kontinuálního potrubí dle požadavku v tabulce č. 1. Použití hliníkových slitin, slitin titanu nebo kompozitních materiálů pro tento prvek je zakázáno.

Je nutné, aby válcová tyč byla vedena od nejnižšího bodu rámu jedné strany, obloukovitě nahoru a poté dolů k nejnižšímu bodu rámu strany druhé.

Při bočním pohledu na vozidlo musí být hlavní ochranný oblouk, ležící nad jeho upevňovacím bodem k hlavní konstrukci rámu, maximálně do deseti stupňů od vertikály.

Z čelního pohledu vozidla, je nutné, aby vertikální členy hlavního oblouku byly vzdáleny alespoň 380 mm od sebe (vnitřní rozměr) v místě, kde je hlavní oblouk připojen k hlavní konstrukci rámu. [1]

Přední ochranný oblouk

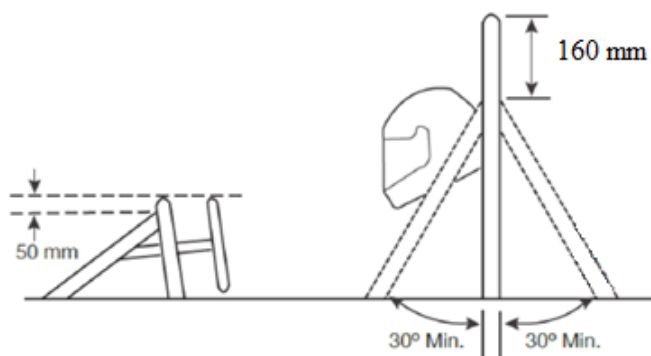
Přední ochranný oblouk musí být také vyroben z uzavřené sekce kovového potrubí dle požadavku pravidel FSAE uvedených v tabulce č. 1.

Přední ochranný oblouk musí být veden od nejnižšího bodu rámu jedné strany, směrem nahoru, přes "střechu" do nejnižšího bodu rámu strany druhé. Při správném zaklínění nebo triangulaci, je přípustné jej vyrobit z více než jednoho kusu trubky.

Nejvyšší bod předního oblouku nesmí být níže než horní část volantu v jakékoliv pozici natočení. Přední oblouk nesmí být od volantu vzdálen více než 250 mm. Vzdálenost je měřena ve vodorovné poloze na ose vozidla, ze zadního povrchu předního oblouku k nejpřednějšímu povrchu věnce volantu řízení v pozici rovně-dopředu. Z bočního pohledu, žádná část tohoto prvku nesmí být nakloněna více než dvacet stupňů od vertikály. [1]

Podpory hlavního ochranného oblouku

Je třeba, aby podpory hlavního ochranného oblouku byly vyrobeny z uzavřených profilů, dle pravidel v tabulce č. 1. Při bočním pohledu musí být dvojice podpor umístěna na tu stranu, na kterou se naklání hlavní ochranný oblouk (dopředu nebo dozadu). Ten musí být jimi podepírán současně na pravé i levé straně. Při bočním pohledu na rám, nesmí hlavní ochranný oblouk a podpory tohoto oblouku ležet na stejné straně od svislé čáry přes horní část hlavního ochranného oblouku. Pokud se tedy hlavní ochranný oblouk naklání dopředu, podpory je nutno vést z hlavního ochranného oblouku tímto směrem a naopak. Horní upevnění podpor musí být co nejbližší k vrcholu hlavního ochranného oblouku, ale nesmí být blíže jak 160 mm od vrcholu. Úhlové sevření hlavního ochranného oblouku a podpor oblouku musí být minimálně 30°, viz obr. č. 4. [1]



Obr. č. 4: Upevnění podpor hlavního a předního oblouku [1]

Je potřeba, aby podpory ochranného oblouku byly schopny bezchybného přenášení zatížení z hlavního ochranného oblouku do hlavní struktury rámu. Proto musí být spodní konce podpor pomocí triangulace profilů, upevněny ke spodním koncům hlavního ochranného oblouku a uzlovému bodu profilů. Je to důležité zejména pro ochranu při bočním nárazu. Zatížení z podpor nesmí být přenášeno na motor, převodovku, diferenciál či prvky odpružení. Pokud některá položka, která se nachází mimo hlavní strukturu rámu je připojena k podporám hlavního ochranného oblouku, pak musí být přidáno další ztužení, aby se zabránilo vždy při převrácení vozidla ohybovému zatížení v podporách.

Podpory předního oblouku

Podpory předního ochranného oblouku musí být vyrobeny z uzavřené kovové sekce potrubí dle požadavků v tabulce č. 1. Podpory předního oblouku slouží k podepření předního oblouku v dopředném směru na levé i pravé straně. Tyto vzpěry musí být vedeny před chodidly pilota a konstruovány tak, aby měl chráněny nohy. Zároveň je potřeba, aby byly připojeny co nejblíže k nejvyšší části předního oblouku, ale ne více než 50 mm pod jeho nejvyšším horním povrchem, viz obr. č. 4. Pokud přední oblouk vede dozadu pod úhlem o více než deset stupňů od vertikály, musí být dozadu dodány další výztuhy. [1]

Nedeformovatelné objekty

Veškeré objekty, které by mohly být při nárazu poškozeny (např. baterie, hydraulické nádrže), musí být upevněny od přepážky směrem dozadu. V dorazové zóně Impact Attenuator nejsou žádné objekty povoleny.

Jedinou výjimkou je přední křídlo a jeho podpora, které mohou být vpředu před přepážkou. Nesmí však být umístěny v oblasti Impact Attenuator ani jí procházet.

Přední karoserie

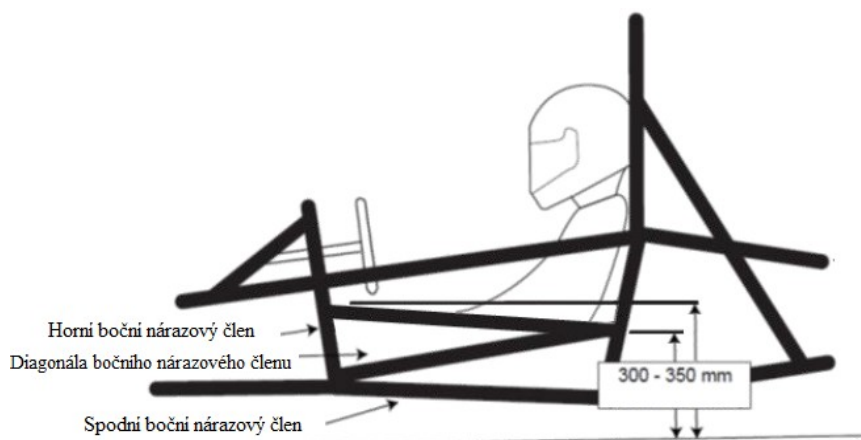
Z hlediska bezpečnosti jsou zakázány všechny vyčnívající součásti a ostré hrany na karoserii. Přední hrany stěn na karoserii, kterými by mohlo být způsobeno zranění osob, musí mít poloměr nejméně 38 mm. [1]

Boční nárazová struktura

Je to vyčnívající oblast na straně vozu, táhnoucí se od země do výšky 350 mm a z předního oblouku zpátky k oblouku hlavnímu.

Boční nárazová struktura musí být složena z nejméně tří trubkových členů nacházejících se na každé straně od řidiče sedícího v normální poloze pro řízení, viz obr. 5.

Tyto tři požadované trubkové členy musí být vyrobeny z materiálu dle požadavků v tabulce č. 1.



Obr. č.5 : Boční nárazová struktura [1]

Umístění tří požadovaných trubkových členů:

- Horní boční nárazový člen musí spojovat hlavní oblouk s obloukem předním. S řidičem o 77 kg usazeným v normální poloze pro řízení, musí být člen po obou stranách ve výšce mezi 300 mm a 350 mm nad zemí. Horní trubkový člen může být použit v případě, že splňuje požadavky na výšku, průměr a tloušťku stěny.
- Spodní boční nárazový člen musí být připojen jak k dolní části hlavního oblouku, tak k dolní části oblouku předního. Spodní trubkový člen stejně jako v předchozím případě může být použit, pokud splňuje požadavky na průměr a tloušťku stěny.
- Diagonála bočního nárazového členu musí být připevněna k hornímu a spodnímu nárazovému členu. Zároveň je připojena v přední části k přednímu oblouku a vzadu k oblouku hlavnímu.

Při správném zaklínění nebo triangulaci, je přípustné vyrobit boční nárazový člen z více než jednoho kusu potrubí. [1]

Čelní nárazová struktura

Pilotovy dolní končetiny musí být kompletně umístěny v hlavní struktuře rámu. Když se pilotova chodidla dotýkají pedálů, tak v bočním a předním pohledu nesmí žádná část pilotových dolních končetin vyčnívat nad nebo mimo hlavní strukturu rámu. Mezi základní prvky čelní nárazové struktury patří přední přepážka, podpora přední přepážky a Impact attenuator.

Přední přepážka musí být schopna absorbovat energii Impact Attenuator. Dále by pak tato přepážka měla být zkonstruována z uzavřených nízkolegovaných nebo legovaných ocelových trubek minimálních rozměrů jak je v tabulce č. 1. a umístěna v popředí všech objektů které by se mohli při nárazu poškodit jako je například baterie, hlavní brzdové válce.

Tabulka č. 1: Požadavky na rozměry ocelových trubek dle pravidel FSAE [1]

Hlavní a přední ochranný oblouk	Trubka 25,4 mm x 2,4 mm
Boční nárazová struktura, Přední přepážka	Trubka 25,4 mm x 1,65 mm nebo Trubka 25,0 mm x 1,75 mm nebo Trubka 25,4 mm x 1,60 mm
Podpora přední přepážky, Podpora hlavního oblouku	Trubka 25,4 mm x 1,25 mm nebo trubka 25,0 mm x 1,5 mm nebo Trubka 26,0 mm x 1,2 mm

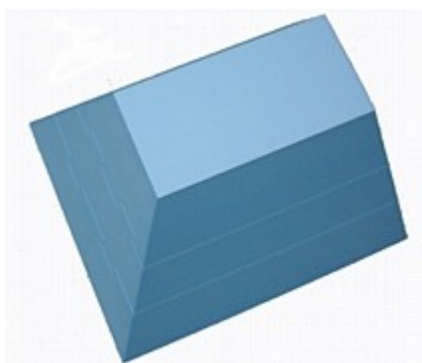
Podpora přední přepážky musí být pevně integrována do rámu a podepřena zpět do předního oblouku minimálně o třech členech rámu na každé straně vozidla. Jedním nahoře, druhým na dně a třetím jako diagonální vzpěra poskytující triangulaci. Triangulace musí

být od uzlu k uzlu tvořena trojúhelníky formovanými přední přepážkou, úhlopříčkou a jedním z dalších dvou požadujících předních přepážkových podpor rámových členů. Všechny členy rámu přední podpory přepážky uvedené výše musí být z uzavřených nízkolegovaných nebo legovaných ocelových trubek minimálních rozměrů které jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Impact Attenuator je deformační člen pohlcující energii umístěný před přední přepážkou. Na tento člen jsou kladeny následující požadavky:

- Nejméně 200 mm dlouhý, s délkou orientovanou podél (od přídi k zádi) osy rámu.
- Nejméně 100 mm vysoký a 200mm široký pro minimální vzdálenost 200 mm vpředu od přední přepážky
- V případě nárazu nesmí proniknout do přední přepážky.
- Bezpečné upevnění přímo na přední přepážku

Přípevnění Impact Attenuator musí být konstruováno tak, aby poskytovalo odpovídající příčné a svislé zatížení v případě mimo středních a mimo běžných nárazech.
[1]



Obr. č. 6: Impact Attenuator [4]

2.2 Kokpit řidiče

Podlaha

Všechna vozidla musí mít podlahovou desku vyrobenou z jednoho nebo více panelů, které oddělí řidiče od dlažby (chodníku atd.). Je-li použito více panelů, mezery

mezi panely nemohou překročit 3 mm. Deska musí sahát od chodidel až po firewall a zabránit vniknutí případných nečistot do prostoru pilota formule. Panely musí být zhotoveny z pevného, a zároveň i nekřehkého materiálu. [1]

Protipožární přepážka

Úkolem protipožární přepážky je oddělení řidiče od prostoru všech částí dodávek paliva, oleje v motoru, kapalinových chladicích systémů a jakéhokoli systému vysokého napětí. Je nutné, aby byl chráněn krk i nejvyššího řidiče z týmu. Protipožární přepážku je důležité dostatečně rozšířit směrem nahoru nebo dozadu tak, aby jakýkoliv bod nižší než 100 mm nad spodní částí přilby i nejvyššího řidiče nebyl v přímé viditelnosti s jakoukoli částí palivového, chladicího nebo mazacího systému.

Protipožární přepážka musí být nepropustná plocha z tuhého, žáruvzdorného materiálu. Každá protipožární přepážka musí být zcela uzavřena proti průchodu tekutin, zejména po stranách a na podlaze kokpitu, tj. nemůže obsahovat žádné otvory, ani otvory, kterými by eventuelně procházely pásy. Průchodky pro kabely elektroinstalace, apod. jsou přípustné, pokud kabelové vývodky slouží k utěsnění průchodů. Pro vytvoření firewallu lze použít více panelů, ale musí být ve všech spojkách utěsněny. [1]

Sedadlo řidiče

Nejnižší bod sedadla řidiče nesmí být níže než spodní povrch části rámu nebo musí být tak, že podélná trubka (nebo trubky), která splňuje požadavky pro trubky bočního nárazu, prochází pod nejnižším bodem sedadla.

Pokud je řidič usazen v normální poloze pro řízení, musí být zajištěna přiměřená tepelná izolace, tak aby řidič nebyl kontaktován s žádným kovem ani jinými materiály, které se mohou zahřát na povrchu na teplotu nad šedesát stupňů celsia. Izolace může být externě vzhledem ke kokpitu nebo jako součást sedadla řidiče nebo firewallu. Před uvedením formule do provozu je nutno předložit doklady o řešení všech tří druhů přenosu tepla, a to vedením, prouděním a radiací. [1]

2.3 Brzdový systém

Formule musí být vybavena brzdovým systémem na všech čtyřech kolech, který je spouštěn pomocí jednoho ovládacího prvku. Musí obsahovat dva nezávislé hydraulické okruhy tak, aby v případě úniku kapaliny nebo poruchy v kterémkoli bodě v rámci systému, bylo zajištěno účinné brzdění na nejméně dvou kolech. Každý hydraulický okruh musí mít vlastní zásoby kapaliny, a to buď za použití oddělených nádrží, nebo použitím vzdučné nádrže. Plastové brzdové hadičky jsou u formule zakázány. V bočním pohledu žádná část brzdového systému, který je namontován na odpružené části vozu nemůže vyčnívat pod spodním povrchem rámu.

Brzdový pedál musí být vyroben z hliníku nebo oceli a navržen tak, aby odolal síle 2000N bez selhání brzdového systému. Kompletní brzdový systém je testován při dynamické zkoušce a musí být schopen současně zabrzdit všechna čtyři kola. V jiném případě by dynamickou zkouškou brzdy neprošel.

Formule musí být dále vybavena červeným brzdovým světlem. Toto světlo má mít černé pozadí, obdélníkového, trojúhelníkového nebo kruhového tvaru s minimálním zářícím povrchem alespoň 15 cm². Každé brzdové světlo musí být jasně viditelné zezadu i ve velmi jasném slunečním světle. Toto světlo musí být namontováno přibližně na středové ose z boční strany vozidla mezi osou kol v úrovni řidičových ramen. [1]

2.4 Systém chlazení

Vodou chlazené motory musí používat pouze čistou vodu. Chladicí systém musí být utěsněn tak, aby se zabránilo eventuelnímu úniku vody. Pro případný únik kapalin z jakéhokoli místa je nutné použít samostatné kovové nádoby, které jsou schopny pojmout i vařící vodu bez deformace. Tyto kovové nádoby se umísťují dozadu od protipožární přepážky pod úrovní ramen řidiče. [1]

3. Stanovení vhodných metod pro analýzu rizik

V některých případech je u komplikovaných technických systémů potřeba provést kvalitativní analýzy spolehlivosti, ještě před tím, než jsou tyto systémy uvedeny do provozu. Tyto analýzy jsou využívány převážně v etapě návrhu a vývoje systému, kde je jejich úkolem zhodnocení spolehlivosti a bezpečnosti, popřípadě navržení opatření, minimalizující vznik rizik.

Pro stanovení kvalitativní analýzy rizik se užívají indukční a deduktivní metody. U indukčních metod je typické provádění analýzy od nižších úrovní systému k vyšším. Nejvyužívanější z těchto metod je analýza způsobu a důsledků poruch. U deduktivních metod je tomu naopak a analýza se provádí od vyšších úrovní výrobku k nižším. Zde je využívána analýza stromu poruch.

3.1 Analýza rizika

Riziko ukazuje možnost vzniku nežádoucí události, která sebou přináší některé negativní důsledky. Čím větší je výskyt negativních událostí, tím více vzrůstá míra rizika.

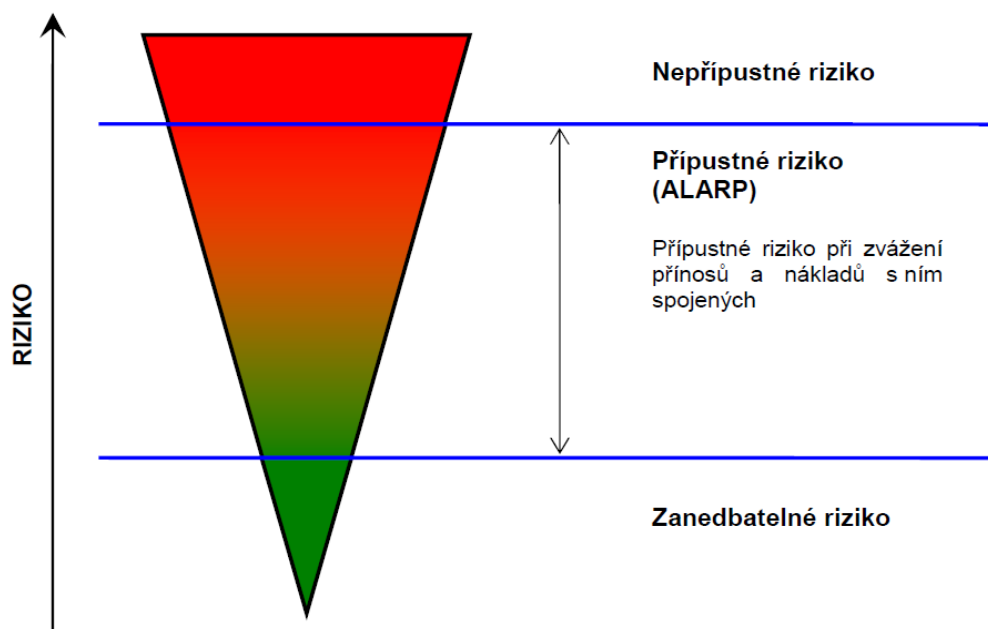
Hlavním úkolem při řešení technických systémů je co nejvíce eliminovat riziko, alespoň na společensky přijatelnou úroveň. Abychom docílili přijatelného zredukování četnosti výskytu nebezpečných událostí nebo jejich omezení následků, zavádíme potřebná opatření již při návrhu technických systémů.

Riziko udržíme na přijatelné úrovni tak, že se stane rizikem řízeným, ale bohužel nejde nikdy zcela vyloučit. Abychom ho udrželi na přijatelné úrovni, používáme metodu ALARP, která bude v následujících odstavcích blíže specifikována.

3.1.1 Metoda ALARP

ALARP (as low as reasonably) je metoda hodnocení rizika, kde jsou rizika dělena do tří skupin: riziko nepřijatelně velké, riziko zanedbatelně malé a oblast rizika vymezeného určitými hraničními hodnotami. Tato oblast se nazývá ALARP, tj. riziko na co nejnížší rozumně proveditelné úrovni. Úkolem metody je snížení rizika na co nejnížší

možnou úroveň. Zároveň však metoda bere ohled na náklady spojené se zmírněním rizika ve vztahu k získanému zlepšení bezpečnosti. Způsob metody je znázorněn na obr. č. 4.



Obr. č. 7: Koncepce metody ALARP [2]

V tabulce č. 2 je uveden obecný případ klasifikace rizika metodou ALARP. Je zde naznačeno hodnocení rizika s využitím čtyř tříd rizika, vycházejících z principu kategorizace možných následků nebezpečných událostí a jejich předpokládané četnosti.

Třídy rizika představují úroveň rizika po provedení opatření k jeho snížení. Pro uvedenou klasifikaci tříd rizik lze rozlišit [2]:

- třída I – nepřípustné riziko,
- třída II – nežádoucí riziko, přípustné pouze v případě, že jeho další snížení je neproveditelné, nebo náklady na jeho snížení jsou neúměrné dosaženému zlepšení bezpečnosti,
- třída III – přípustné riziko v případě, že náklady na jeho snížení jsou neúměrné dosaženému zlepšení bezpečnosti,
- třída IV – zanedbatelné riziko ve všeobecně přijatelné oblasti.

Tabulka č. 2: Matice rizika, obecný případ [2]

Četnost	Následek			
	katastrofální	kritický	nepodstatný	zanedbatelný
Častá	I	I	I	II
pravděpodobná	I	I	II	III
příležitostná	I	II	III	III
málo častá	II	III	III	IV
nepravděpodobná	III	III	IV	IV
neuvěřitelná	IV	IV	IV	IV

Základní hledisko ALARP je podnětem i pro přiřazení bezpečnostních požadavků u kvalitativních i kvantitativních metod, založených na hodnocení rizik.

3.2 Analýza stromu poruchových stavů (FTA)

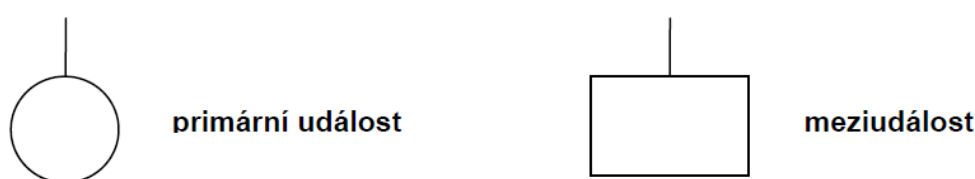
Analýza stromu poruchových stavů představuje metodu speciálních orientovaných grafů. Strom poruch ukazuje logický diagram, v němž jsou vyobrazeny logické vztahy mezi případnou vrcholovou událostí a příčinami vzniku daného jevu. Dobře zkonstruovaný strom poruch představuje všechny možnosti poruch prvků a poruchových jevů, jež mohou nastat a zároveň tak přispívat ke vzniku vrcholového jevu.

FTA je analýza, patřící mezi deduktivní metody a rozvíjející se od vrcholové události k jevům nižší úrovně. Zároveň posuzuje eventuelní příčiny vzniku nadřazeného poruchového jevu.

Vrcholová událost reprezentuje poruchu systému, tedy situaci kdy systém není schopen plnit potřebné funkce. Strom poruch je rozvíjen směrem k subsystémům, objektům a prvkům systému, jejichž porucha způsobuje vrcholovou událost [2]. Při rozvíjení je počítáno také s vazbami vnějších systémů, provozními a okolními podmínkami, ale také s vlivem lidského faktoru. Všechny tyto možnosti mohou zapříčít vznik poruchy systému.

3.2.1 Konstrukce stromu poruch

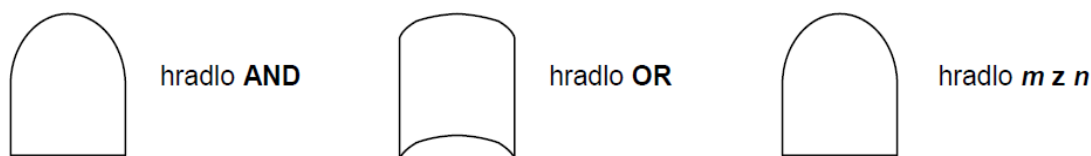
Při konstruování stromu poruch se vychází z vrcholové události. Dále jsou hledány příčiny této nežádoucí události a tímto způsobem je strom postupně rozvíjen. Začíná se od poruchy systému k nižším úrovním systému (např. subsystému), které jsou pak označovány jako meziudálosti. Od nich je strom poruch dále rozvíjen až k primárním událostem, které se následně rozvíjet nedají, ale je možné kvantifikovat jejich pravděpodobnost, jsou navzájem nezávislé. Na obr. č. 8 je znázornění grafického značení zmíněných událostí ve stromech poruch.



Obr. č. 8: Značení události ve stromu poruch [2]

Stromy poruch se rozvíjejí od vrcholové události k událostem primárním prostřednictvím logických operací. Tyto operace se graficky zakreslují symboly hradel. Značení hradel ve stromu poruch je na obr. č. 9, kterým odpovídají následující logické operace [2]:

- **konjunkce (hradlo AND)** – logický součin, tzn. výstupní událost nastane, nastanou-li všechny vstupní události,
- **disjunkce (hradlo OR)** – logický součet, tzn. výstupní událost nastane, dojde-li alespoň k jedné ze vstupních událostí,
- **logika „m z n“ (výběrové hradlo)** – výběrová logika, tj. výstupní událost nastane, nastane-li současně v libovolné kombinaci alespoň m vstupních událostí z n celkových, přičemž tuto logickou operaci je možné vyjádřit také pomocí operací vyjádřených pouze hradly AND a OR.



Obr. č. 9: Značení hradel ve stromu poruch [2]

3.3 Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA)

Analýza způsobů a důsledků poruch, je strukturovaná kvalitativní analýza, používaná k rozeznávání způsobů poruch systémů, jejich důvodů a dopadů. V současné době je mezi metodami prediktivní analýzy spolehlivosti nejpoužívanější.

Patří mezi indukativní metody a provádí kvalitativní analýzu bezporuchovosti systému od nižší k vyšší úrovni členění systému. Zabývá se selháním objektů na nižší úrovni, a také tím, jaký mohou mít dopad tato selhání pro vyšší úroveň.

K hlavním cílům metody patří: [2]

- posouzení důsledků a posloupnosti jevů pro každý zjištěný způsob poruchy prvku, s jakoukoliv její příčinou, na různých funkčních úrovních systému,
- určení významnosti každého způsobu poruchy vzhledem k požadované funkci nebo provozuschopnosti systému s uvažováním důsledků na bezporuchovost nebo bezpečnost daného procesu,
- klasifikace zjištěných způsobů poruch podle možnosti, jak lze zjistit, diagnostikovat, testovat, nahradit danou součást nebo provádět kompenzační a provozní opatření (oprava, údržba, logistický systém atd.), nebo podle jiných odpovídajících charakteristik,
- odhady ukazatelů významnosti a pravděpodobnosti poruchy, jsou-li k dispozici potřebná data.

Metoda je využívána hlavně u etapy návrhu a vývoje systému, kde slouží jako prvek přezkoumání návrhu, který má zamezit budoucím potížím vyplývajících z nespolehlivosti daného systému. Zároveň je uplatňována také v etapě tvorby koncepce a upřesnění nároku systému. Dále slouží jako důkaz, že navrhovaný systém vyhovuje požadavkům norem na bezporuchovost a bezpečnost.

Informace zjištěné metodou FMEA mohou být brány jako základ pro návrh konstrukčních změn systému nebo definování nároků na provedení zkoušek. Analýza dále přináší potřebné informace pro návrh systému údržby

3.3.1 Postup provádění analýzy

Abychom mohli provést analýzu metodou FMEA je potřeba detailně vymezit předpoklady její realizace a mít všechny důležité vstupní informace ke kterým patří: [2]

- technický popis systému,
- definice rozhraní systému,
- funkční členění systému,
- definice funkcí systému a jeho prvků apod.

Při samotné analýze jsou jednotlivě všechny prvky systému (na zvolené nejnížší úrovni) podrobeny systematickému zkoumání, při kterém se realizují především tyto základní kroky: [2]

- identifikace způsobů poruch prvku, jejich důsledků a pravděpodobných příčin,
- kvalitativní posouzení významnosti jednotlivých způsobů poruch,
- návrh opatření k zamezení vzniku poruch a jejich detekci,
- posouzení účinnosti zavedených opatření opětovným provedením analýzy a její vyhodnocení.

Tuto základní analýzu je možné ještě rozšířit o další kroky, vedoucí ke zjištění dalších informací důležitých pro posouzení spolehlivosti nebo bezpečnosti systému.

Výstupem dílčích částí FMEA je kvalitativní hodnocení úrovně spolehlivosti a bezpečnosti řešeného systému formou sepsání všech předvídaných poruch, problémových míst v konstrukci a technologii a jejich dopad na funkci systému.

3.3.2 Kvalitativní posouzení významnosti poruch

Jedním ze způsobů klasifikace rizika je určení relativní významnosti poruchy. Díky tomuto je možné zjistit, zda je porucha nebezpečná nebo bezvýznamná pro provoz systému.

Významnost jednotlivých možných poruch se hodnotí v analýze FMEA s využitím bezrozměrné hodnoty RPN (Risk Priority Number). Tato hodnota je definována jako součin závažnosti důsledku poruchy, četnosti vzniku poruchy a odhalitelnosti poruchy.

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad (1)$$

[3]

Kde:

RPN -ukazatel významnosti poruchy [-]

S -závažnost důsledků poruchy [-]

O -četnost vzniku poruchy [-]

D -odhalitelnost poruchy [-]

Stupnice klasifikace jednotlivých ukazatelů RPN má rozsah 1 až 10. Nízká hodnota tohoto ukazatele např. 1 představuje jen mizivý dopad poruchy pro provozuschopnost systému. Naopak vysoká hodnota blíží se 10, představuje nebezpečný až kritický důsledek poruchy. Z toho vyplývá, že se stoupající hodnotou ukazatele četnosti poruch roste i pravděpodobnost poruchy a se stoupající hodnotou ukazatele odhalitelnosti poruchy pak klesá míra odhalení poruchy. V následujících tabulkách č. 3, 4, 5 jsou ukázkové klasifikace poruch

Tabulkač. 3: Klasifikace závažnosti poruchy [2]

č.	Druh poruchy dle důsledku	Popis poruchy
1	Žádný důsledek	žádný důsledek na objektu nebo jeho činnostech
2	Velmi nepatrný důsledek	Občas nevýznamná porucha
.....
10	Nebezpečný důsledek	Náhlá porucha ohrožující bezpečnost systému

Tabulka č. 4: Klasifikace výskytu poruch [2]

č.	Výskyt poruchy
1	Téměř nikdy
2	Velice slabý
....
10	Téměř jistý

Tabulka č. 5: Klasifikace odhalitelnosti poruch [2]

č.	Výskyt poruchy
1	Téměř jistá
2	Velmi vysoká
....
10	Téměř nemožná

Ukazatel významnosti poruchy RPN se pohybuje v rozmezí hodnot 1 až 1000. Hodnota RPN poruchy je porovnávána s předem stanovenými mezemi, odvíjejícími se od dané řešené situace. Tyto meze jsou vždy závislé na samotném řešiteli. Na základě tohoto porovnání se zjistí, zda je či není nezbytné provést opatření ke snížení rizika.

Hodnota RPN se stanovuje rovněž pro dílčí objekty systému, s úkolem určit objekty, u kterých je přijatelné provedení změny konstrukce z důvodu možného hromadění rizika, které by poškození objektu mohly zapříčinit. Hodnota RPN se pak vypočítá:

$$RPN_0 = \sum_{i=1}^n RPN_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

[2]

Kde:

RPN_0 - hodnota Risk Priority Number objektu (prvku) systému [-]

RPN_i - hodnota Risk Priority Number i-tého způsobu poruchy objektu [-]

Pomocí hodnoty RPN lze také posoudit účinnost navržených opatření vedoucích k omezení rizika. Například stanovením významnosti poruchy pomocí RPN jak při původní analýze FMEA, tak při analýze FMEA s uvažováním realizovaných opatření, je možno vyhodnotit zda došlo k poklesu hodnoty RPN. V případě že se RPN snížilo, je možno určit procentuální pokles a zjistit tak míru snížení rizika.

4. Provedení analýzy vybraných částí formule FSAE a návrhy pro snížení rizik

Tato kapitola se zabývá vybranými částmi formule, konkrétně brzdovou, chladicí a palivovou soustavou.

U uvedených soustav bude provedena analýza FTA, tzv. analýza stromu poruch, kde vrcholová událost je reprezentována poruchou systému. Tato porucha je pak dále rozvíjena až k prvkům jejichž porucha tuto vrcholovou událost způsobuje. Postup sestavení stromu poruch je detailně popsán v kapitole 3.2.

Následně bude analýza stromu poruch doplněna FMEA analýzou, s návazností na jednotlivé primární události stromů poruch. Díky ní je možno určit způsoby a důsledky poruch těchto primárních událostí, jež by mohly vyvolat velkou míru rizika a ohrozit tak bezpečnost samotného řidiče, případně i zvýšit riziko, že závod nebude dokončen. Výstupem FMEA analýzy bude kvalitativní hodnocení úrovně spolehlivosti a bezpečnosti řešeného systému formou sepsání veškerých předvídatelných poruch a jejich vlivu na funkci systému. Ve FMEA analýze bude rovněž hodnocena významnost rizik všech těchto předvídatelných poruch. Hodnocení se provede pomocí hodnoty RPN, která je definována v kapitole 3.3.2. Aby bylo možno RPN vypočítat je potřeba stanovit kritéria pro hodnocení významnosti rizik.

Stanovení kritérií pro hodnocení významnosti rizik

K hodnocení příčin a následků předvídatelných poruch touto metodou, je potřeba rozčlenit závažnost, četnost a odhalitelnost poruchy do jednotlivých tříd. V každé z těchto

tříd je pro hodnocení dána 10 bodová stupnice. Číslo 10 znamená nebezpečný důsledek, nejvyšší četnost poruchy a téměř nemožnou odhalitelnost. Číslo 1 je pak jeho pravým opakem. Klasifikace kritérií se odvíjí podle dané oblasti řešení a závisí na konkrétním řešiteli. V níže uvedených tabulkách budou jednotlivé stanovené třídy popsány číselně i slovně.

Tabulka č. 6: Kritéria určení závažnosti poruchy - S

č.	Druh poruchy důsledku	Popis poruchy
1	Žádný důsledek	Formule zůstává v provozuschopném stavu a je bezpečná
2	Velmi malý důsledek	Při provozu dochází k pískání - nezásadní porucha
3	Nepatrný důsledek	Nezásadní poruchy
4	Menší důsledek	Nemá zásadní vliv na provozuschopnost
5	Mírný důsledek	Nezásadní část prvku potřebuje opravu
6	Významný důsledek	Některé prvky jsou neprovozuschopné
7	Větší důsledek	Porucha která umožňuje závodit ale ohrožuje bezpečnost
8	Velký důsledek	Porucha která neumožňuje dokončit závod a ohrožuje bezpečnost řidiče
9	Velmi závažný důsledek	Porucha která ohrožuje zdraví osob nebo životní prostředí
10	Nebezpečný důsledek	Porucha ohrožující život osob

Tabulka č. 7 : Kritéria určení stupně četnosti poruch - O

č.	Výskyt poruchy	Popis poruchy
1	Téměř nikdy	Může se vyskytnout během 4-5 závodních sezón
2	Velice slabý	Může se vyskytnout během 4-5 závodních sezón
3	Velice mírný	Může se vyskytnout během 3-4 závodních sezón
4	Mírný	Může se vyskytnout během 3-4 závodních sezón
5	Střední	Vyskytne se během 2-3 závodních sezón
6	Zvýšený	Vyskytne se téměř každou druhou závodní sezónu
7	Zvýšený	Vyskytne se téměř v každé závodní sezóně
8	Vysoký	Vyskytne se téměř v každé závodní sezóně
9	Velmi vysoký	Vyskytne se téměř při každém druhém závodě
10	Téměř jistý	Vyskytne se téměř při každém závodě

Tabulka č. 8: Kritéria určení stupně odhalitelnosti – D

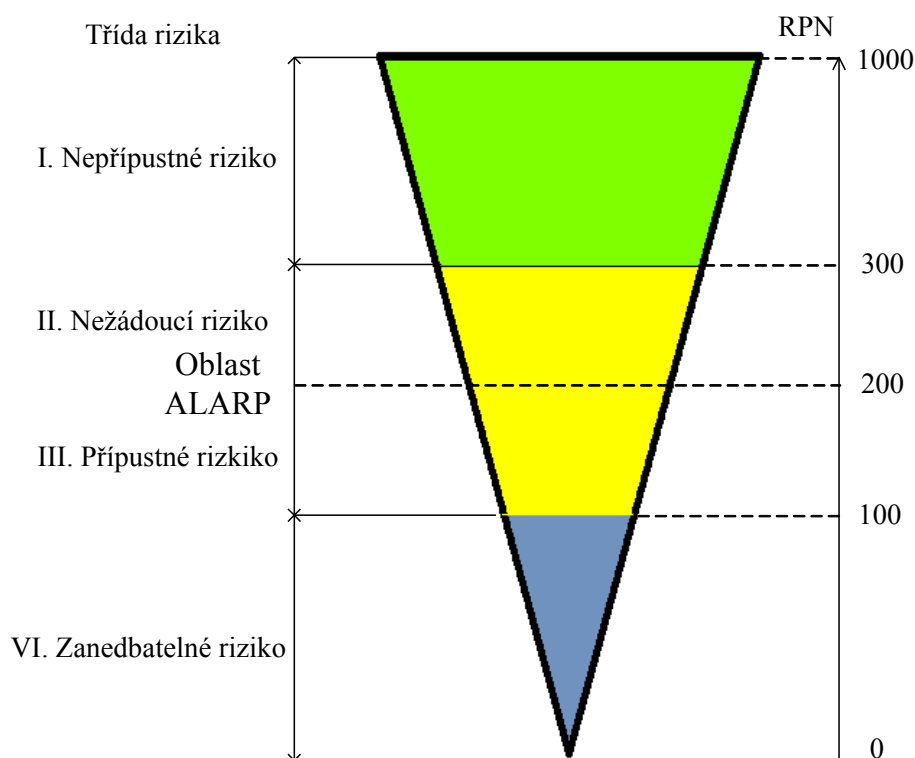
č.	Výskyt poruchy	Popis poruchy
1	Téměř jistá	Při poruše dojde k zjevné ztrátě funkčnosti
2	Velmi vysoká	Dojde téměř vždy k zjevné ztrátě funkčnosti
3	Vysoká	Téměř jistá že dojde ke zjevné strátě funkčnosti
4	Zvýšená	Téměř vždy dojde k okamžité ztrátě funkčnosti
5	Střední	Nutná vizuální kontrola-případně v některých případech nutná demontáž prvků
6	Nízká	Demontáž prvků -případně proměření pomocí elektrických přístrojů
7	Mírná	Demontáž prvků -případně proměření pomocí elektrických přístrojů
8	Hodně mírná	Odhaltelnost pomocí demontáže na jednotlivé komponenty
9	Velmi slabá	Odhaltelnost pomocí defektoskopických zkoušek
10	Téměř nemožná	Odhaltelnost pomocí defektoskopických zkoušek

Výslednou hodnotu RPN vypočítáme vynásobením závažnosti, četnosti a odhalitelnosti poruchy. Následně dle vypočtené výše RPN, určíme, do jaké třídy rizika daná porucha spadá. Jednotlivé třídy, k nimž jsou přiřazeny hodnoty RPN jsou vyobrazeny na obr. č. 10, a blíže specifikovány v kapitole 3.1.1. Pro třídu zanedbatelného rizika je stanovena hodnota RPN 0-99. U třídy přípustného rizika se pohybuje RPN v rozmezí 100-199. Pro skupinu nežádoucího rizika je dána hranice RPN 200-299. V kategorii nepřipustného rizika uvádím hodnoty RPN v rozmezí 300-1000.

Stanovení hodnot RPN k daným třídám se odvíjí od oblasti použití a záleží na samotném řešiteli.

Vypočtené RPN všech poruch je srovnáno se stanovenými hodnotami pro dané třídy a tímto je tedy zároveň zjištěno, do kterých tříd budou poruchy zařazeny.

Při zjištění poruchy spadajícího do tříd I., II. a III. budou navržena taková opatření, která co nejvíce minimalizují riziko poruchy, případně zamezí tomu, aby k poruše vůbec mohlo dojít. Po provedení opatření se celá analýza znovu opakuje.



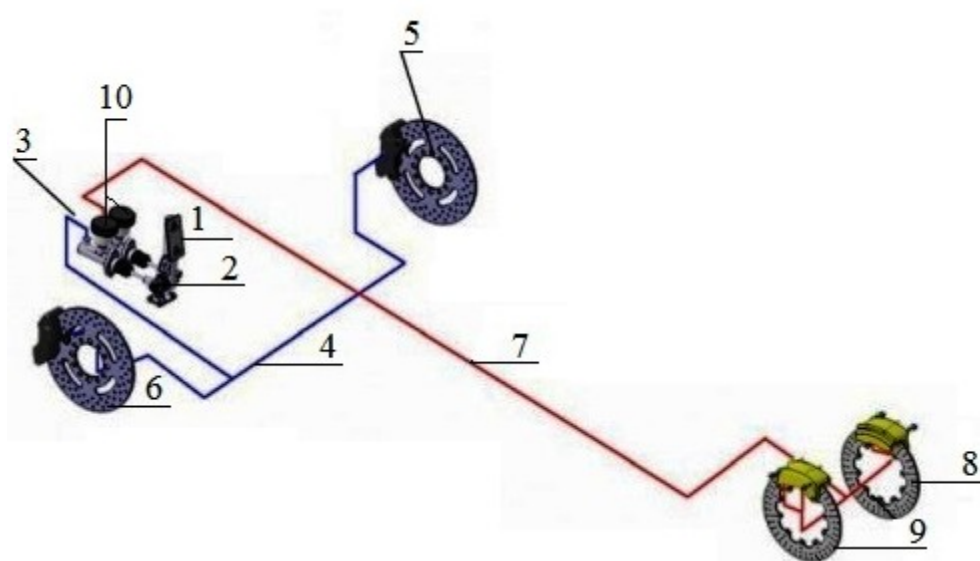
Obr. č. 10: Stanovené hodnoty RPN po dané třídy rizika

4.1 Brzdová soustava Formule FSAE

Brzdy jsou jedním z nejvýznamnějších systémů ve formuli, patřící k prvkům aktivní bezpečnosti. Díky brzdové soustavě je možné bezpečné snižování rychlosti formule, případně její úplné zastavení a zabránění možné nehodě.

Úkolem je vyvolat brzdný účinek. Toho bude dosaženo působením síly na brzdový pedál. Vyvíjená síla stlačuje oba písty hlavních brzdových válců, které z nich vytlačují brzdovou kapalinu a tlačí ji potrubím do brzdových třmenů. Z brzdových třmenů jsou pak díky vzniklému tlaku vytlačovány brzdové písty, jejichž cílem je přitlačení brzdových destiček na brzdový kotouč, upevněný na kole.

Na obr. č. 11 je znázorněno schéma dvou okruhových hydraulických brzd formule. Je zde patrné, že formule má dva oddělené brzdící okruhy. První okruh je pro přední kotoučové brzdy a druhý okruh pro zadní kotoučové brzdy.



1 – Brzdový pedál

2 – Vahadlo

3 – Hlavní brzdové válce obou okruhů

4 – Vedení předního okruhu

5 – Pravá přední kotoučová

6 – Levá přední kotoučová

7 – Vedení zadního okruhu

8 – Pravá zadní kotoučová brzda

9 – Levá zadní kotoučová brzda

10 – Vyrovnávací nádržky

Obr. č. 11: Schéma brzdové soustavy formule SAE [5]

4.1.1 FTA analýza brzdové soustavy

Konstrukce stromu poruch je vysvětlena v kapitole 3.2.1 a funkce, která je potřeba znát k sestavení stromu poruch brzdové soustavy je popsána v předchozí kapitole. Správně sestavený strom poruch představuje všechny možnosti poruch prvků, které mohou nastat a zároveň tak přispívat ke vzniku vrcholové události.

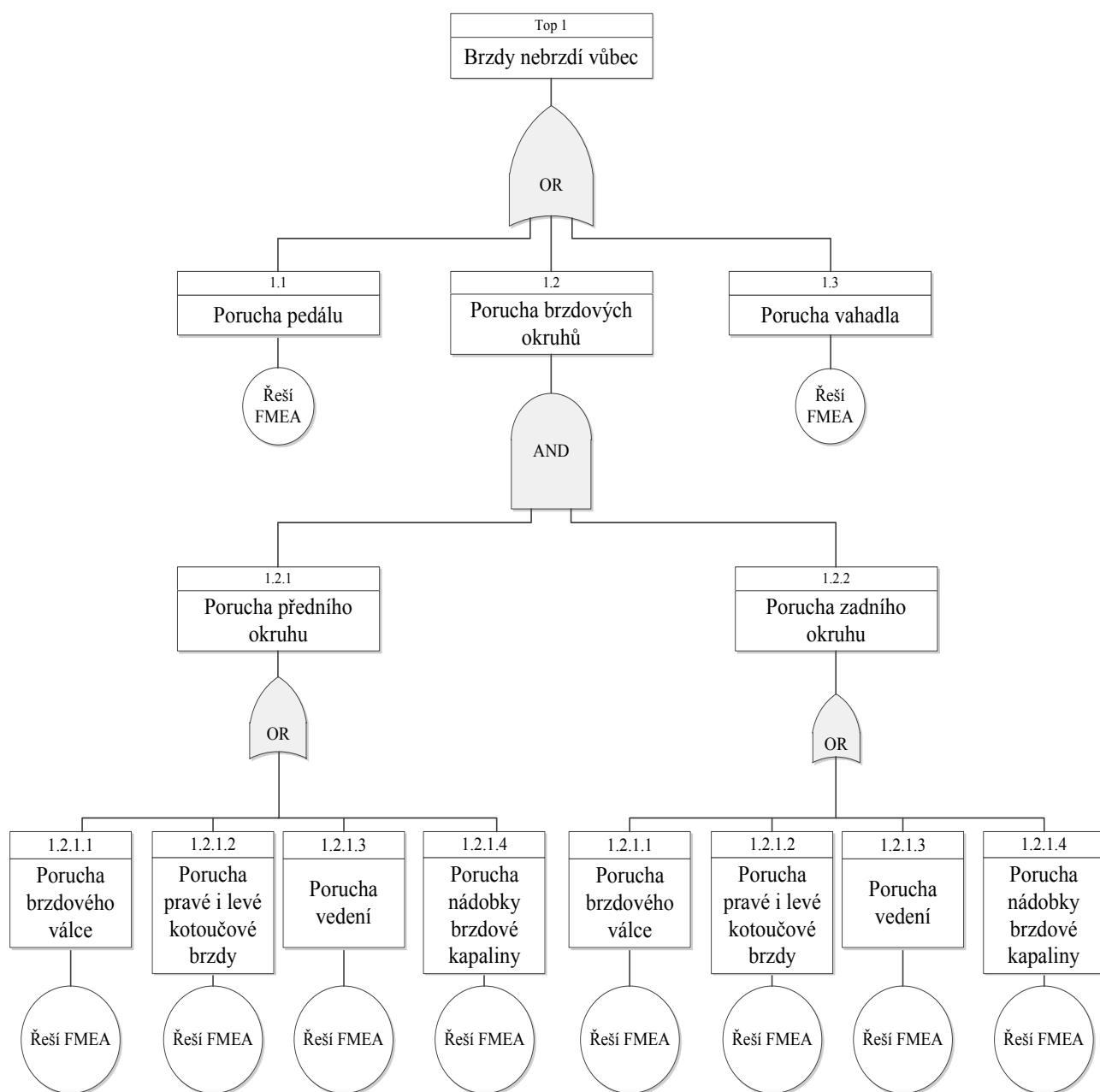
U brzdové soustavy formule mohou nastat tři vrcholové události: formule nebrzdí vůbec, brzdí málo nebo brzdí nesouměrně.

Na obr. č. 12 je popsán strom poruch, kdy nastane vrcholová událost a dojde k úplné ztrátě brzdného účinku. Pro konstrukci stromu poruch je nejprve nezbytné si stanovit prvky, díky nimž může dojít k tomu, že brzdy nebrzdí vůbec.

Stanovení prvků, díky kterým může dojít k úplné ztrátě funkčnosti brzdy:

- Brzdový pedál
- Vahadlo
- Brzdový válec
- Kotoučová brzda
- Vedení

Nastane-li úplná ztráta funkčnosti jednoho z těchto prvků, nebude možné formuli zabrzdit.



Obr. č. 12: Strom poruch pro úplnou ztrátu brzdného účinku

Vrcholovou událostí stromu poruch je, jak již bylo zmíněno stav, kdy brzdy nebrzdí vůbec. Strom je dále rozvinut pomocí hradla OR, kde může nastat porucha pedálu, vahadla nebo dojít k poruše obou brzdových okruhu současně. Porucha obou okruhů současně nastane tehdy, jestliže v obou okruzích současně dojde k úplné ztrátě funkčnosti alespoň jednoho ze čtyř prvků.

Jednotlivé poruchy prvků budou dále podrobně rozvedeny v kapitole zabývající se FMEA analýzou.

Zbývající dvě vrcholové události budou prostřednictvím stromů poruch znázorněny a vloženy v příloze A.

4.1.2 FMEA analýza kotoučové brzdy

V této kapitole je uvedena FMEA analýza pouze pro konstrukční celek kotoučovou brzdou viz tabulka č. 9. FMEA analýza pro ostatní prvky brzdové soustavy je vložena v příloze D.

Kotoučová brzda je jakýsi systém, sestavený ze čtyř prvků: třmen, písty, brzdové destičky a kotouč. Aby bylo možné určit potencionální poruchy, důsledky a jejich příčiny je potřeba u všech těchto prvků znát jejich funkci. Proto je funkce každého prvku v přiložené tabulce blíže specifikována.

Například úkolem pístů je přitlačení brzdové destičky z obou stran kotouče a zajištění výsledného brzdného účinku. Může zde však dojít k zadření pístů. U této poruchy se může stát, že destičky neodlehnou od brzdových kotoučů a brzda bude brzdit stále nebo naopak písty nebudou schopny vůbec destičky přitlačit na brzdový kotouč a brzdy tedy nebudou brzdit vůbec. Uvedené situace jsou velmi nebezpečnými jevy a mohou ohrozit zdraví osob.

Z tohoto důvodu je potřeba vypočítat hodnotu RPN, která udává významnost rizika poruchy.

Aby bylo možné RPN vypočítat, je nutné poruchu ohodnotit pomocí kritérií hodnocení významnosti rizik uvedené v kapitole 4 v tabulkách č. 6, 7, 8.

Prvním kritériem je závažnost poruchy „S“. Jelikož jde o poruchu s možným ohrožením života osob je ohodnocena nejvyšším číslem 10. Dalším z kritérií je hodnota četnosti „O“, zařazena jako velice mírná četnost pod číslem 3. Posledním kritériem je odhalitelnost „D“, pro niž bylo mnou v tabulce zvoleno číslo 5 tj. střední odhalitelnost. Nyní lze vypočítat hodnotu RPN.

Výpočet RPN pro poruchu zadření pístů dle vztahu (1):

$$RPN = 10 \cdot 3 \cdot 5 = 150[-]$$

Vypočtená hodnota se následně srovná se zvolenými hodnotami RPN pro dané třídy rizika dle obr. č. 10. Je zde vidět, že tato porucha spadá do přípustné třídy rizika a proto je vhodné navrhnout opatření k jeho snížení. V tomto případě je tedy potřeba, aby byly brzdy po každé závodní sezóně demontovány a byla provedena kontrola pístů. Tímto opatřením bude zlepšena odhalitelnost poruchy. Následně se opět provede zhodnocení poruchy pomocí kritérii hodnocení významnosti rizik a vypočte se hodnota RPN.

Výpočet RPN pro poruchu zadření pístu po navrženém opatření dle vztahu (1):

$$RPN = 10 \cdot 3 \cdot 2 = 60[-]$$

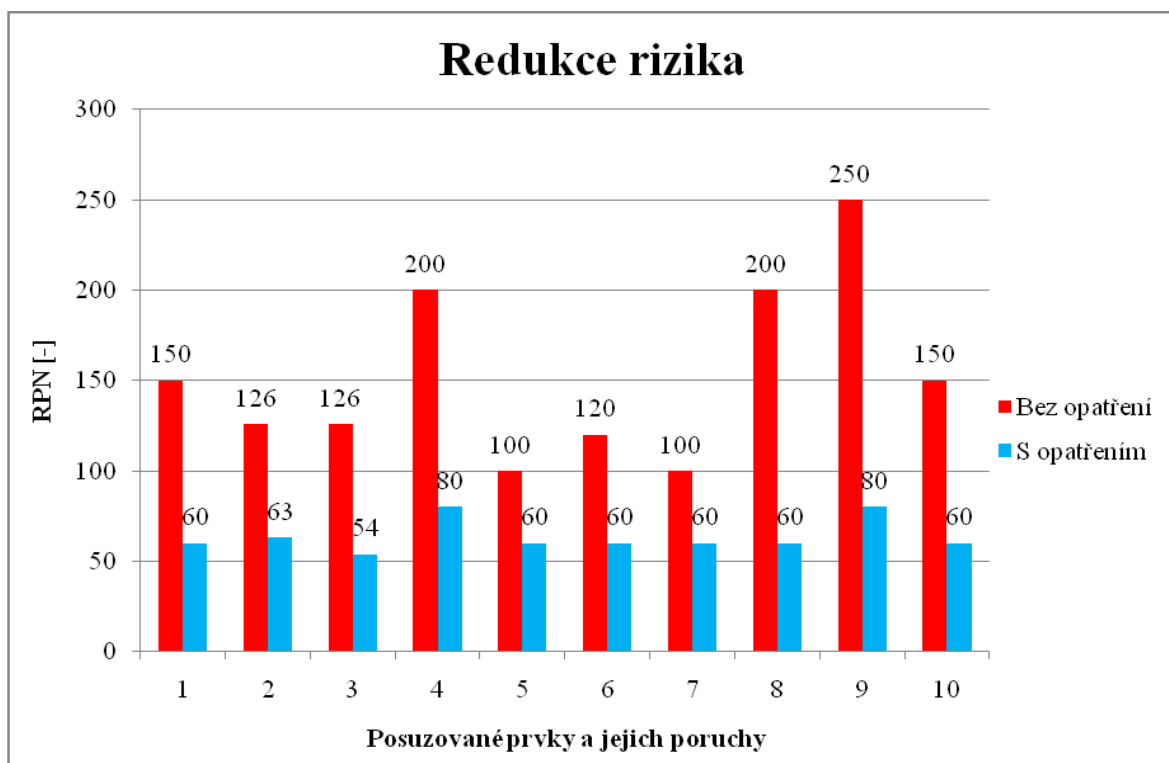
Pomocí hodnoty RPN lze tedy posoudit účinnost navrženého opatření, vedoucího k zamezení rizika. Je zde vidět, že RPN velmi pokleslo a porucha tak spadá už do třídy zanedbatelného rizika.

U ostatních prvků se při FMEA analýze postupuje obdobně jak u výše popsaných pístů.

Tabulka č. 9: FMEA analýza pro kotoučovou brzdu

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Pistý- úkolem je přitlačovat brzdové destičky z obou stran na kotouč	Zadřené pistý	Ztrata schopnosti přitlačovat brz. destičky na kotouč, neodlehnutí destiček od kotouče	10	Koroze pistu zadření pistu nečistotami	3	Žádné	Střední	5	150	Po každé závodní sezoně demontovat brzdy a provést kontrolu pistu	10	3	2	60
Kotouč - úkolem je odvádět teplo	Zvlněný kotouč	Vibrace do volantu	9	Přehřátí brzd	6	Žádné	Téměř jistá	1	54	Žádné				
	Opotřeбенý kotouč pod danou normu	Přehřátí brzd- ztráta brzdného účinku	9	Zanedbaná údržba	7	Žádné	Velmi vysoká	2	126	Po každém závodě provést kontrolu brzdových kotoučů	9	7	1	63
Destičky- vytváří tlak na brzdový kotouč, což následně vede k zabrzdění vozidla	Opotřebení pod danou normu	Ztráta brzdného účinku	9	Zanedbaná údržba	7	Žádné	Velmi vysoká	2	126	Po každém závodě provést kontrolu brzdových destiček	9	6	1	54
Brzdový třmen- umožňuje přitlačit brzdové destičky na kotouč	Netěsnost brzdového třmenu	Ztráta brzdného účinku	10	Vadné těsnění	4	Žádné	Střední	5	200	Po každém závodě provést vizuální kontrolu těsnosti	10	4	2	80

Nakonec se provede posouzení redukce rizika u všech prvků brzdové soustavy, u kterých bylo navrženo opatření, obr. č. 13. Navržená opatření byla správná, jelikož se riziko výrazně snížilo téměř u každé poruchy prvku. Veškeré hodnoty RPN jsou po navrženém opatření nižší než 100, tzn., že dle stanovených hodnot jde o zanedbatelné riziko, které pak dále není potřeba snižovat.



1 – Písky (Zadřené písky)

2 – Brzdový kotouč (Opotřebený kotouč pod danou normu)

3 – Brzdové destičky (Opotřebené pod danou normu)

4 – Brzdový třmen (netěsnost brzd. třmenu)

5 – Brzdový válec (netěsnost)

6 – Brzdový pedál (vůle čepu pedálu)

7 – Vahadlo (mechanická porucha)

8 – Vahadlo (samovolné přestavení)

9 – Vedení (netěsnost)

10 – Vedení (mechanické poškození)

Obr. č. 13: Posouzení redukce rizika brzdové soustavy

4.1.3 Matice rizik brzdové soustavy

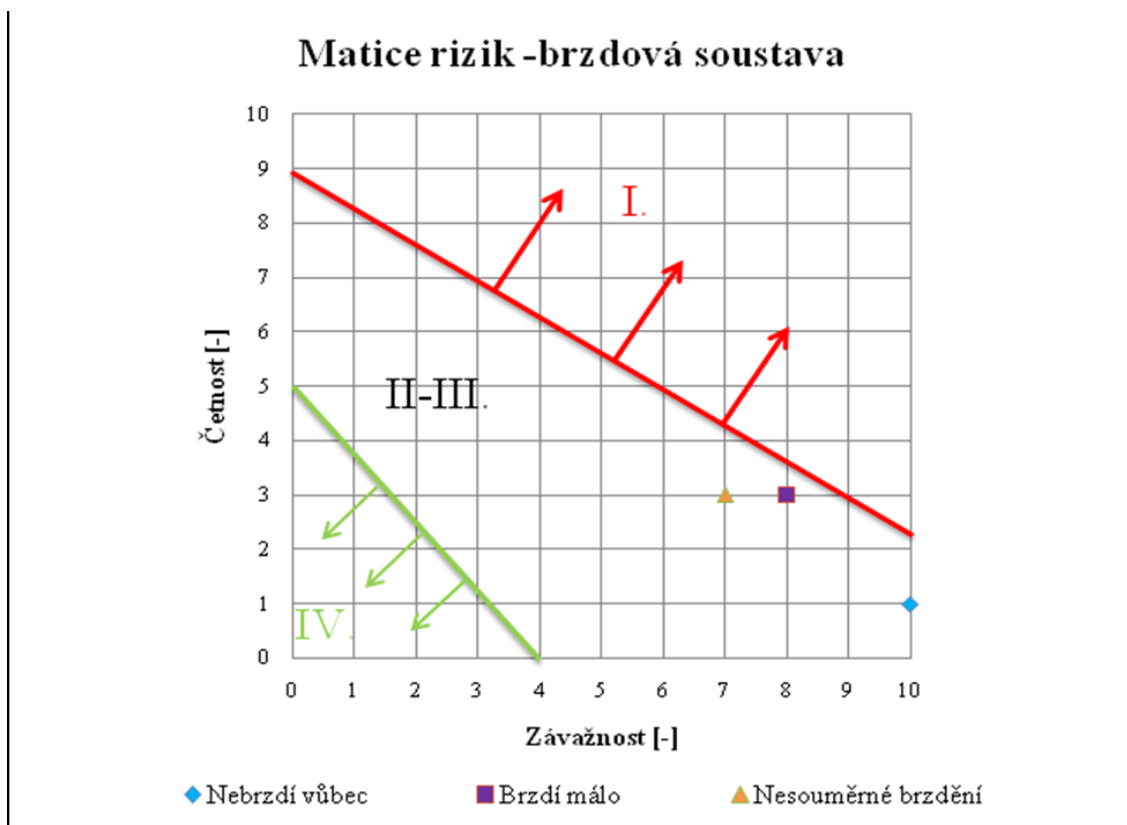
Matice je založena na hodnocení četnosti a závažnosti poruch, nefiguruje zde již odhalitelnost. Matice je zobrazena na obr. č. 14.

Na vodorovné ose je znázorněna závažnost vzniklé události označená čísly 1-10, kdy 10 představuje nebezpečný důsledek a číslo 1 žádný důsledek vzniklé události.

Na svislé ose je četnost událostí rovněž se stupnicí 1-10, kdy 10 je událost téměř jistá a číslo 1 téměř nikdy.

Matice rizik brzdové soustavy je sestrojena pro jednotlivé vrcholové události. Jsou zde čtyři třídy rizika rozdělené do tří oblastí dle míry eventuelního rizika. Třída I. je oblast ohraničená křivkou červené barvy značící nepřipustné riziko. Pro poruchy řadící se do této oblasti je vždy nutné navrhnout opatření ke snížení možných rizik. Oblast VI., ohraničená křivkou zelené barvy značí zanedbatelné riziko. U těchto poruch není potřeba žádného opatření. Třetí oblastí je oblast přípustná a zde spadají třídy II. - III. Jsou to třídy nežádoucího a přípustného rizika. U těchto dvou tříd se riziko připouští a nemusí být snižováno jen tehdy, je-li nereálné jeho snížení nebo je velmi nákladné a neúměrné tak snížení rizika.

U brzdové soustavy všechny tři vrcholové události spadají do přípustné oblasti II. - III. Návrh konstrukčního opatření k zamezení vzniku těchto událostí však nelze provést, jelikož zde není možné přidat např. nouzovou brzdu. Bude tedy pouze doporučeno provádět navržená opatření pro brzdové soustavy v předchozí kapitole.



Obr. č. 14: Matice rizik brzdové soustavy

4.2 Chladicí soustava Formule FSAE

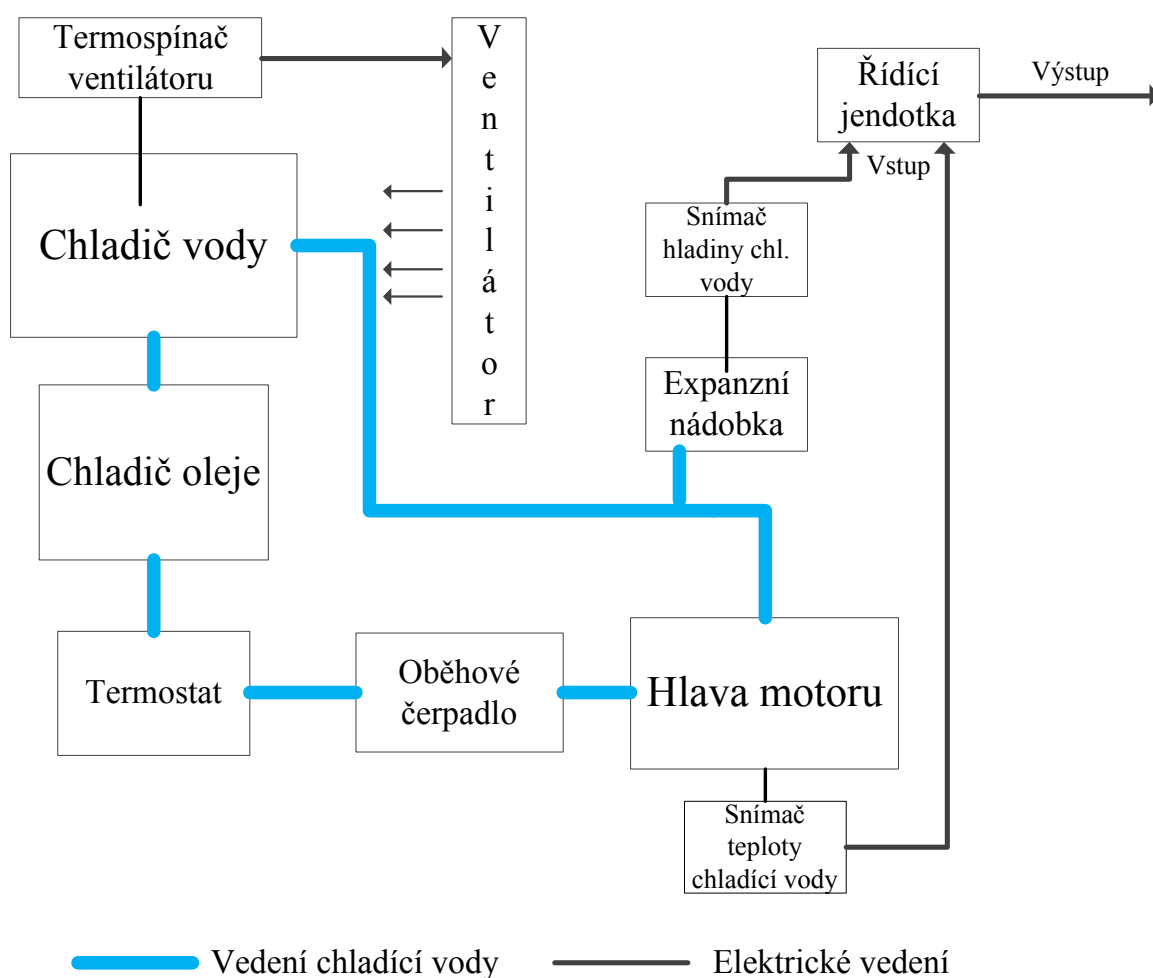
Chlazení motoru formule je velmi důležité pro jeho správnou funkci a dlouhou životnost. Úkolem chlazení je udržení provozní teploty motoru.

V případě této formule je použito chlazení s nuceným oběhem chladicí kapaliny a je doplněno o chladič motorového oleje. Dle pravidel FSAE je nutné, aby byla jako chladicí medium použita obyčejná destilovaná voda. V chladicím okruhu je udržován stálý přetlak 1-1,5 bar, vznikající ohříváním chladicí kapaliny, která se následně rozpíná. Tento stálý přetlak je udržován díky víčku expanzní nádoby. Udržování přetlaku má dva důvody, a to, zvýšení bodu varu kapaliny a udržování přijatelné hladiny kapaliny ve vysokotlaké části.

Chlazení má tzv. malý chladicí okruh a velký chladicí okruh. Blokové schéma celého chladicího okruhu je znázorněno na obrázku č. ...

Malý okruh slouží pro rychlejší dosažení provozní teploty motoru. Dokud není této provozní teploty dosaženo, termostat se neotevře a nepropustí chladicí kapalinu do chladiče tj. do velkého okruhu. Malý chladicí okruh koluje pouze mezi termostatem a hlavou motoru.

Velký okruh je pak aktivován otevřením termostatu po dosažení provozní teploty. Tento okruh probíhá mezi chladičem oleje, chladičem vody a hlavou motoru.



Obr. č. 15: Blokové schéma chladicí soustavy formule

4.2.1 FTA analýza chladicí soustavy

Konstrukce stromu poruch je vysvětlena v kapitole 3.2.1. Funkci, kterou je v tomto případě potřeba znát k sestavení stromu poruch chladicí soustavy je blíže specifikována

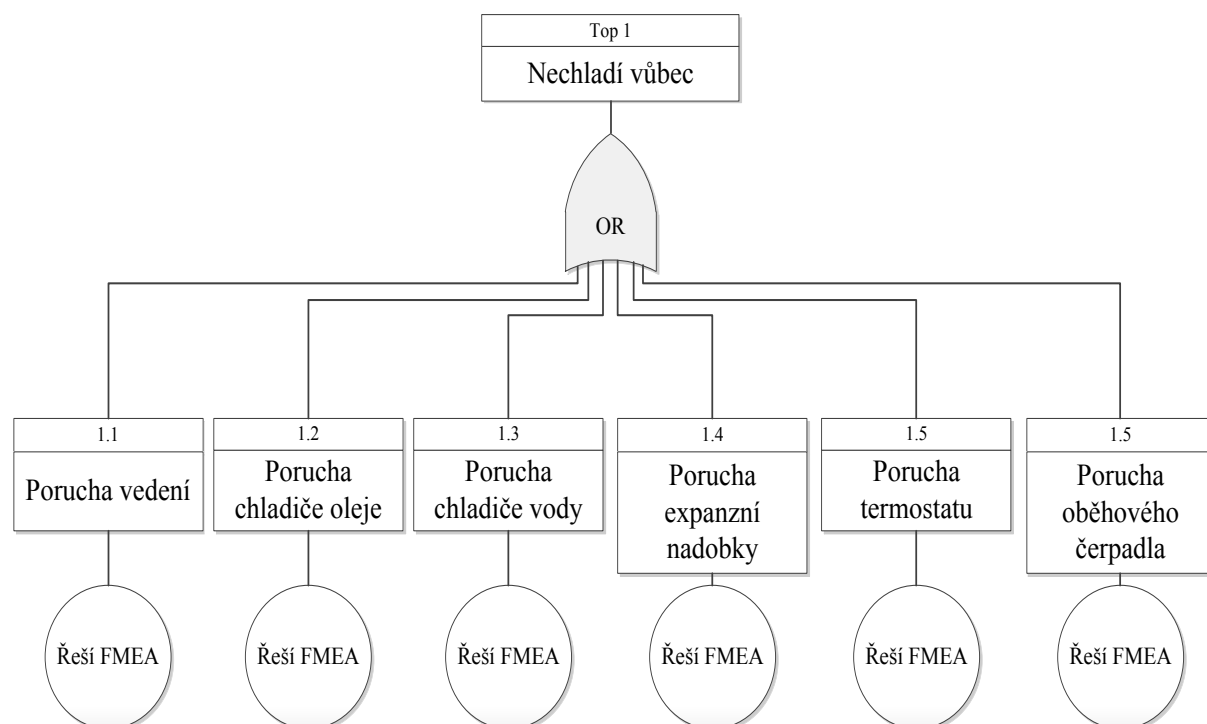
v kapitole 4.2. Správně sestavený strom poruch představuje všechny možnosti poruch prvků, které mohou nastat a zároveň tak přispívat ke vzniku vrcholové události.

U chladicí soustavy formule mohou nastat čtyři vrcholové události: nechladí vůbec, chladí málo nebo může dojít k úniku kapaliny a eventuálnímu opaření řidiče.

Na obr. č. 16, je popsán strom poruch, kdy nastane vrcholová událost a dojde k úplné ztrátě funkce soustavy, tzn. nechladí vůbec. Pro konstrukci stromu poruch je nejprve nezbytné stanovení prvků, díky nimž může dojít k této vrcholové události.

Stanovené prvky, díky kterým může dojít k úplné ztrátě provozuschopnosti chladicí soustavy:

- Vedení
- Chladič oleje
- Chladič vody
- Expanzní nádobka
- Termostat
- Oběhové čerpadlo



Obr. č. 16: Strom poruch pro chladicí soustavu, kdy nechladí vůbec

Vrcholovou událostí stromu poruch je, jak již bylo zmíněno stav, kdy systém nechladí vůbec. Strom je dále rozvinut pomocí hradla OR. Vrcholová událost tedy nastane v případě, dojde-li k poruše jednoho z těchto prvků: vedení, chladiče oleje, chladiče vody, expanzní nádoby, termostatu nebo oběhového čerpadla.

Jednotlivé poruchy prvků budou podrobně rozvedeny v kapitole 4.2.2 zabývající se FMEA analýzou chladicí soustavy.

Zbývající tři vrcholové události budou prostřednictvím stromů poruch znázorněny a vloženy v příloze B.

4.2.2 FMEA analýza chladicí soustavy

V této kapitole je uvedena FMEA analýza pro termostat viz tabulka č. 10. FMEA analýza pro ostatní prvky chladicí soustavy je vložena v příloze D.

Funkcí termostatu je otevírání či zavírání velkého okruhu. Pokud je motor zahřátý na provozní teplotu, termostat se otevírá a chladicí voda proudí do oblasti chladiče, tedy velkého okruhu. Z této funkce vyplývá, že při neotevření termostatu, tj. proudění vody jen v malém okruhu, může dojít k přehřátí motoru a nedokončení závodu. I zde je proto potřeba vypočtení hodnoty RPN, udávající významnost rizika poruchy.

Aby bylo možné RPN vypočíst, je rovněž nutné poruchu ohodnotit pomocí kritérií hodnocení významnosti rizik uvedené v kapitole 4 v tabulkách č. 6, 7 a 8.

Prvním z kritérií je závažnost poruchy „S“, pro kterou bylo mnou zvoleno číslo 7. Dalším z kritérií je hodnota pro četnost „O“, zařazena jako velice mírná četnost pod číslem 3. Posledním kritériem je odhalitelnost „D“, pro niž bylo mnou v tabulce zvoleno číslo 7, tj. mírná odhalitelnost. Nyní lze vypočítat hodnotu RPN.

Výpočet RPN pro poruchu, kdy je termostat trvale uzavřen, dle vztahu (1):

$$RPN = 7 \cdot 3 \cdot 7 = 147[-]$$

Výsledná hodnota RPN je následně srovnána se zvolenými hodnotami RPN pro dané třídy rizika dle obr. č. 10. Tato porucha spadá do třídy přípustného rizika, a proto je potřeba navrhnout vhodné opatření k jeho snížení. Bude tedy navrženo, aby po každé závodní sezóně byla provedena kontrola termostatu, čímž zlepšíme odhalitelnost poruchy.

Následně je opět provedeno zhodnocení poruchy pomocí kritérií hodnocení významnosti rizik a vypočítá se hodnota RPN.

Výpočet RPN pro poruchu, kdy je termostat trvale uzavřen, po navrženém opatření, dle vztahu (1):

$$RPN = 7 \cdot 3 \cdot 3 = 63[-]$$

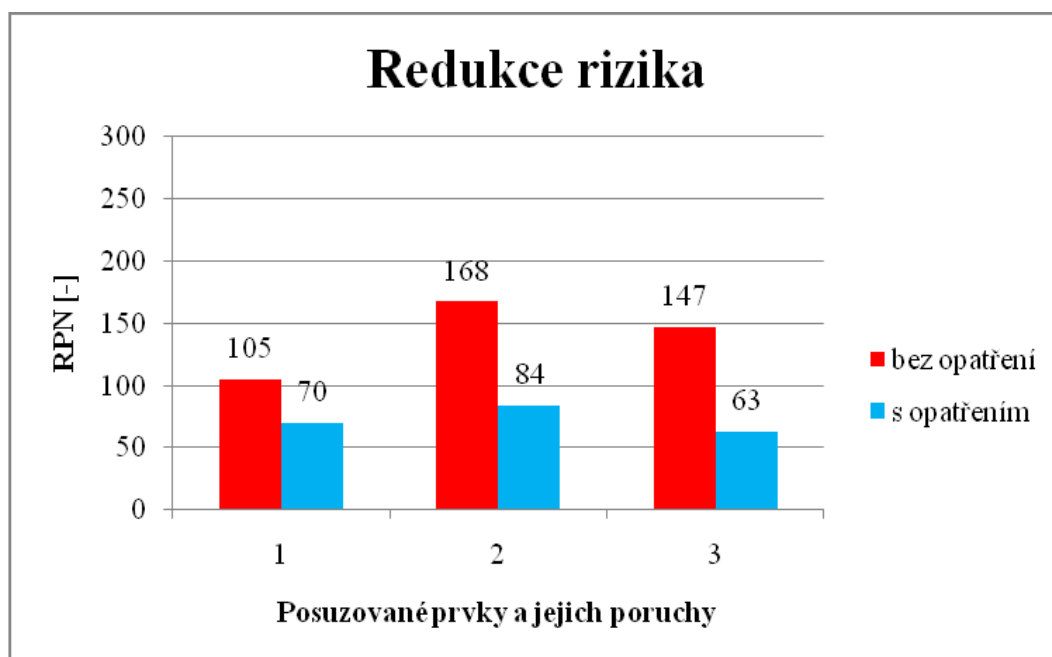
Pomocí hodnoty RPN lze tedy posoudit účinnost navrženého opatření, vedoucího k zamezení rizika. Zde je vidět, že RPN velmi pokleslo a porucha tak spadá už do třídy zanedbatelného rizika. Jelikož je RPN viditelně sníženo, je možné určit pokles RPN a zjistit tak míru snížení rizika.

U ostatních prvků soustavy je při FMEA analýze postupováno stejným způsobem, jako u výše popsaného termostatu.

Tabulka č. 10: FMEA analýza pro termostat

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Termostat - slouží pro otevření nebo uzavření velkého okruhu	Vadný termostat- trvale otevřen	Podchlazený motor	4	Zarezlý termostat	4	Žádné	Zvýšená	4	64	Žádná				
	Vadný termostat- trvale uzavřen	Přehřátí motoru	7	Zarezlý termostat	3		Mírná	7	147	Kontrola termostatu po každé závodní sezóně	7	3	3	63

V konečné části FMEA analýzy chladicí soustavy je provedeno posouzení redukce rizika u všech jejích prvků, u nichž byla navržená opatření obr. č. 17. Všechny tři prvky mají po navrženém opatření hodnoty RPN nižší než 100, což značí zanedbatelné riziko, které není dále potřeba snižovat.



1 – Vedení (netěsné vedení)

2 – Oběhové čerpadlo (zadřené ložisko)

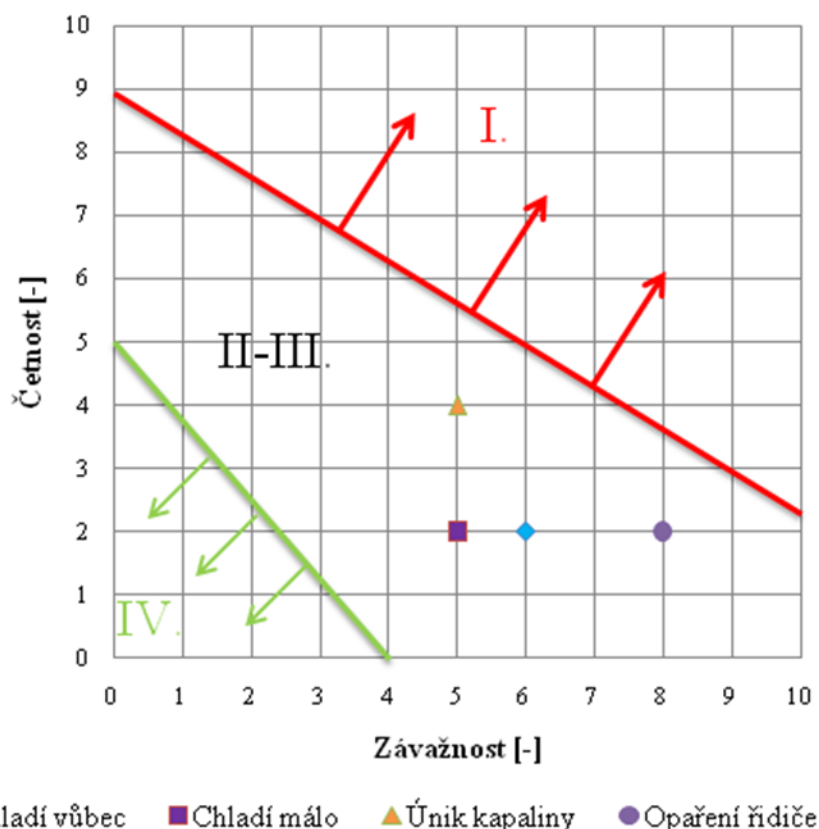
3 – Termostat (vadný termostat- trvale uzavřen)

Obr. č. 17: Posouzení redukce rizika chladicí soustavy

4.2.3 Matice rizik chladicí soustavy

V následující matici rizik chladicí soustavy obr. č. 18, lze vidět, že všechny čtyři vrcholové události (nechladí vůbec, chladí málo, únik kapaliny, opaření řidiče) spadají do přípustné oblasti třídy rizika II. - III. Konstrukční opatření pro tyto rizika nelze u formule nijak zrealizovat, a proto bude doporučeno provádět navržená opatření pro chladicí soustavu v předchozí kapitole.

Matice rizik - chladicí soustava



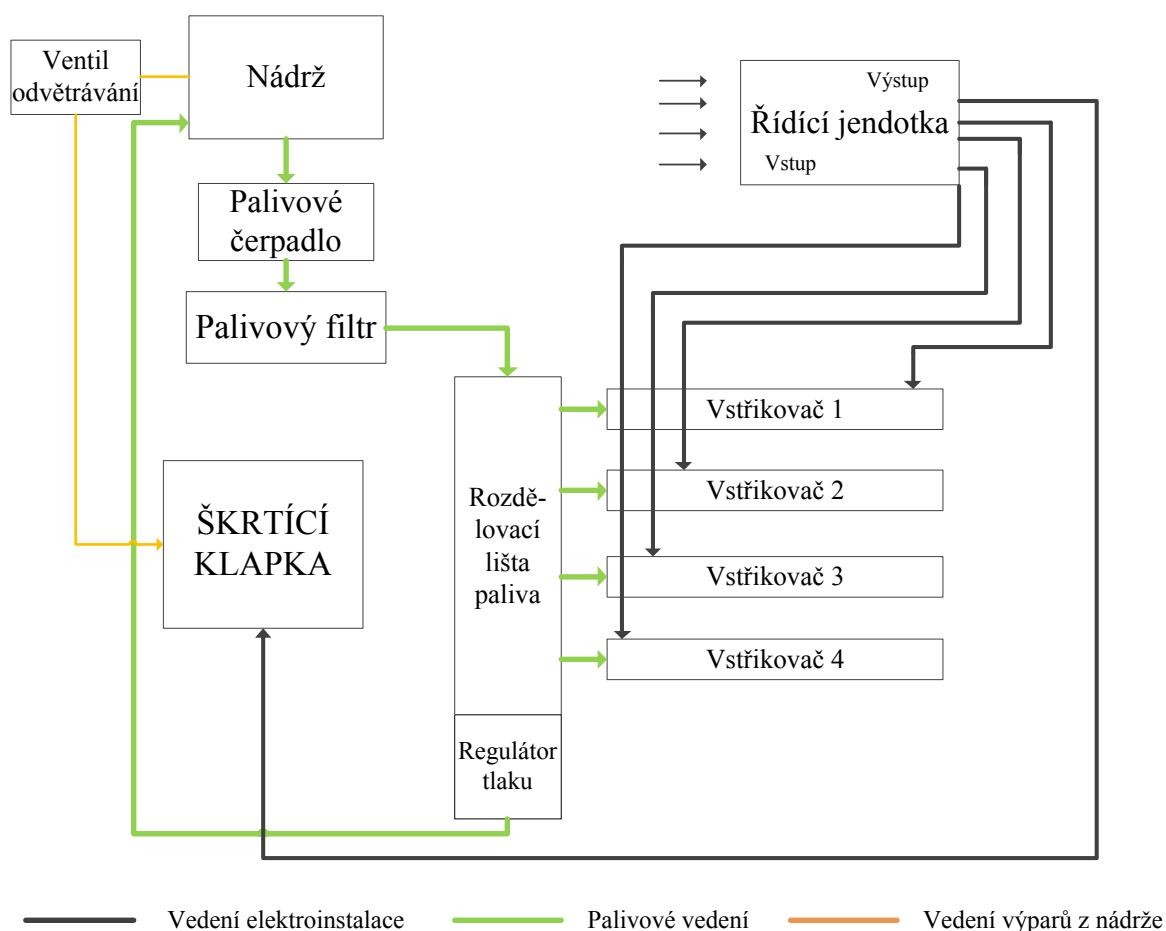
Obr. č. 18: Matice rizik chladicí soustavy

4.3 Palivová soustava Formule FSAE

U formule je použito vícebodové nepřímě vstřikování, umožňující dávkování, množství a kvalitu směsi pro každý válec individuálně, dle podmínek provozu. Každý válec má tedy jeden vstřikovač. U tohoto systému není směs vstřikována přímo do válce ale do jednotlivých větví sacího potrubí před sací ventil.

Palivová soustava je složena z nádrže (slouží jako zásobník paliva), odvětrávacího ventilu (zachytává výpary z nádrže a přepouští je do sání), palivového čerpadla (doprava paliva z nádrže a vytváření tlaku v systému), palivového filtru (zachytává nečistoty z paliva), rozdělovací lišty paliva (rozděluje palivo do vstřikovačů), regulátoru tlaku (udržuje konstantní tlak ve vysokotlaké části), vstřikovačů (vstřikují palivo do sání), škrtkové klapky (reguluje proud vzduchu) a řídicí jednotky (řídí celý systém na základě všech vstupních údajů).

Blokové schéma palivové soustavy je zobrazeno na následujícím obr. č. 20.



Obr. č. 20: Blokové schéma palivové soustavy Formule SAE

4.3.1 FTA analýza palivové soustavy

Funkce palivové soustavy, kterou je potřeba znát k sestavení stromu poruch je popsána v předchozí kapitole 4.3. Správně sestavený strom poruch představuje všechny možnosti poruch prvků, které mohou nastat a zároveň tak přispívat ke vzniku vrcholové události.

U palivové soustavy formule mohou nastat čtyři vrcholové události: palivo není dodáváno vůbec, palivo uniká, paliva může být nedostatek a vznik požáru.

Na obr. č. 21 je zobrazen strom poruch, kdy palivo není dodáváno vůbec. Pro konstrukci stromu poruch je nejprve důležité stanovení prvků, díky nimž může dojít k tomu, že tato událost nastane.

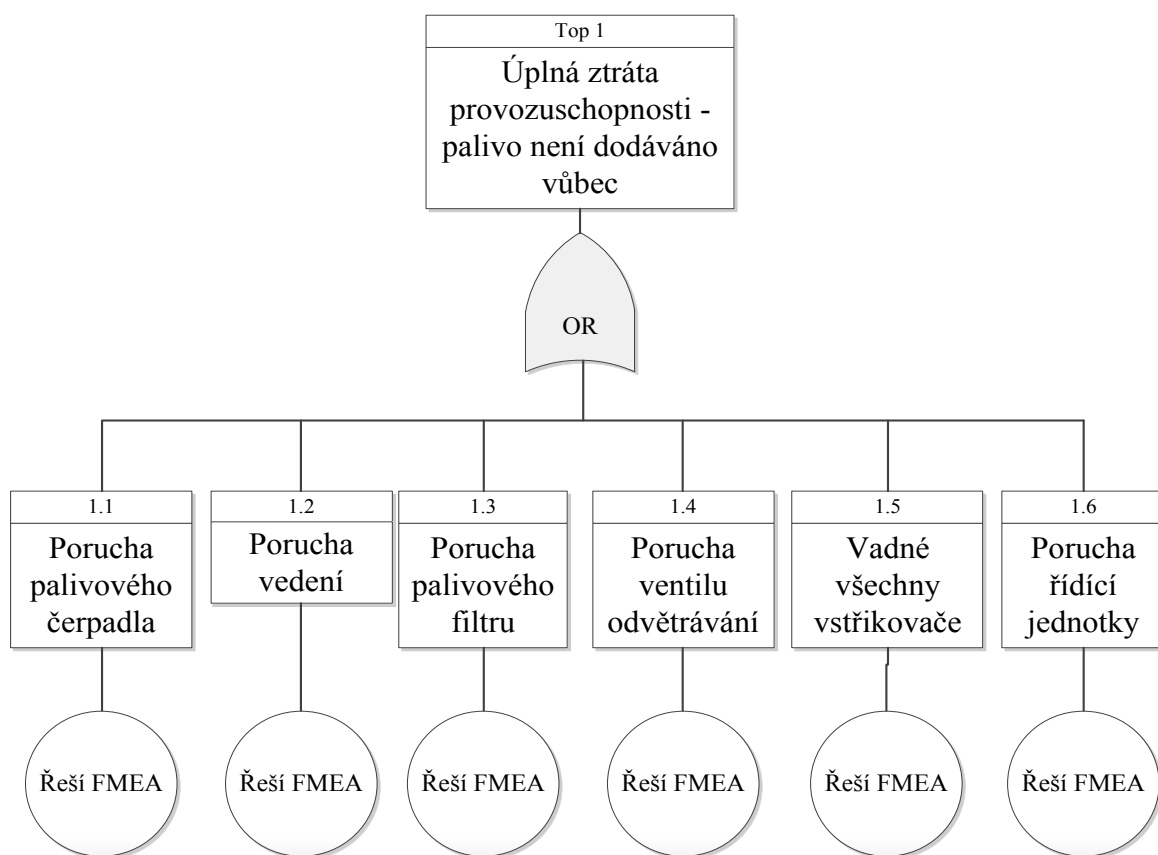
Stanovené prvky, díky kterým může dojít k úplné ztrátě provozuschopnosti palivového systému:

- Palivové čerpadlo
- Vedení
- Palivový filtr
- Ventil odvětrávání
- Vstřikovače
- Řídící jednotka

Nastane-li úplná ztráta funkčnosti jednoho z těchto prvků, nebude možné dokončit závod.

Jednotlivé poruchy prvků budou dále podrobněji rozvedeny v kapitole 4.3.2. zabývající se FMEA analýzou palivové soustavy.

Zbývající tři vrcholové události budou prostřednictvím stromů poruch znázorněny a vloženy v příloze C.



Obr. č. 21: Strom poruch pro vrcholovou událost, kdy palivo není dodáváno vůbec

4.3.2 FMEA analýza palivové soustavy

V této kapitole je uvedena FMEA analýza pro palivový filtr viz tabulka č. 11. FMEA analýza pro ostatní prvky palivové soustavy je vložena v příloze D.

Funkcí palivového filtru je zbavení paliva téměř veškerých obsahujících nečistot. Jediná porucha, která v tomto případě může nastat, je tedy zanesení filtru nečistotami. Následkem je pak snížený průtok paliva, popř. palivo neproteče vůbec. Snížený průtok paliva tedy bude mít vždy nějaký vliv na provoz formule, konkrétně nám může omezit výkon motoru. Z tohoto důvodu je potřeba vypočíst hodnotu RPN, udávající významnost rizika poruchy.

Aby bylo možné RPN vypočíst, je nutné poruchu ohodnotit pomocí kritérií hodnocení významnosti rizik uvedené v kapitole 4.3.

Prvním z kritérií je závažnost poruchy „S“, pro kterou bylo mnou zvoleno číslo 6. Dalším z kritérií je hodnota pro četnost „O“, zařazená jako velice mírný výskyt pod č. 3. Posledním z kritérií je odhalitelnost „D“, pro niž bylo mnou v tabulce zvoleno číslo 6, tj. nízká odhalitelnost. Nyní je možné provést výpočet hodnoty RPN.

Výpočet RPN pro poruchu zanesený filtr paliva dle vztahu (1):

$$RPN = 6 \cdot 3 \cdot 6 = 108[-]$$

Vypočtená hodnota RPN 108 spadá dle obr. 10 do třídy přípustného rizika. Je tedy vhodné navrhnout potřebná opatření k jeho snížení, tj. pravidelná výměna palivového filtru po každé závodní sezóně.

Výpočet RPN pro poruchu zanesený filtr po navrženém opatření dle vztahu (1):

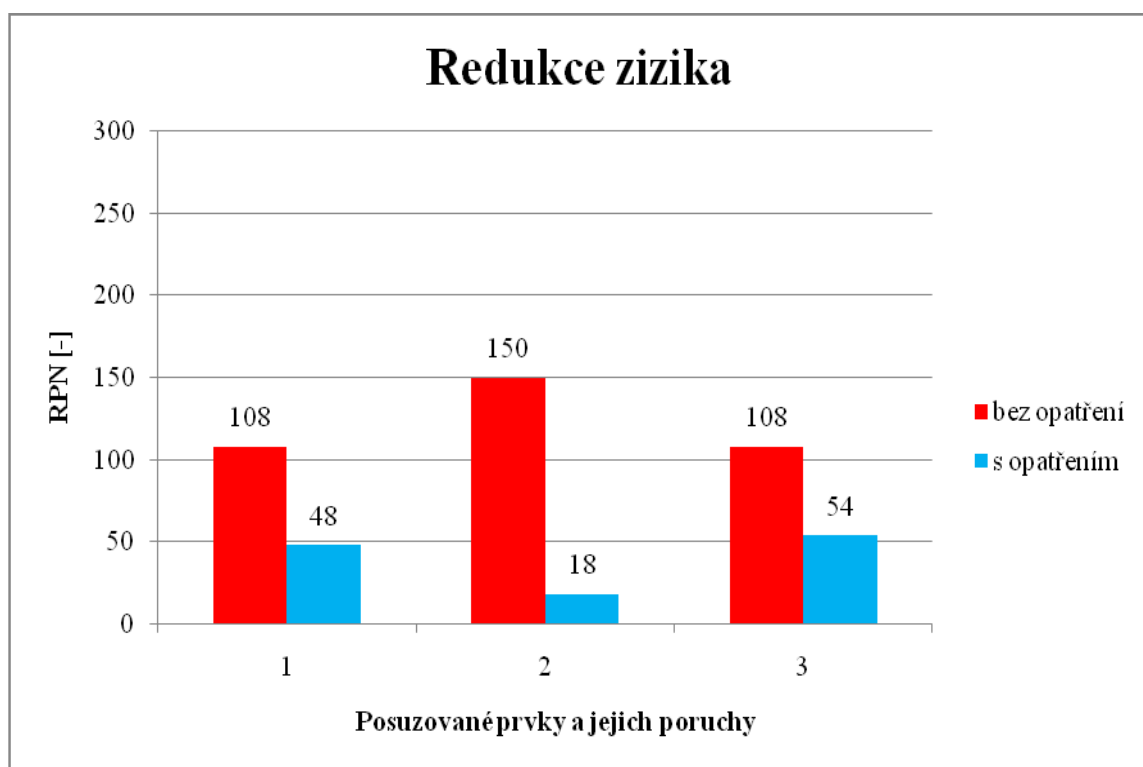
$$RPN = 6 \cdot 2 \cdot 4 = 48[-]$$

Po výpočtu RPN po navrženém opatření lze tedy posoudit jeho účinnost. Je zde patrné, že RPN velmi pokleslo a to o 60, tedy více než o 50%. Porucha nyní již spadá do třídy zanedbatelného rizika.

Tabulka č. 11: FMEA analýza pro palivový filtr

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Palivový filtr- musí zbavit palivo nečistot	Zanesený filtr	Snížený průtok	6	Nečistoty v palivu	3	Žádné	Nízká	6	108	Pravidelná výměna palivového filtru po každé sezoně	6	2	4	48

V závěru FMEA analýzy palivové soustavy je provedeno posouzení redukce rizika u všech jejích prvků, u nichž byla navržena opatření, obr. č. 21. Všechny tři prvky mají po navrženém opatření hodnoty RPN nižší než 100, což značí zanedbatelné riziko, které není dále potřeba snižovat.

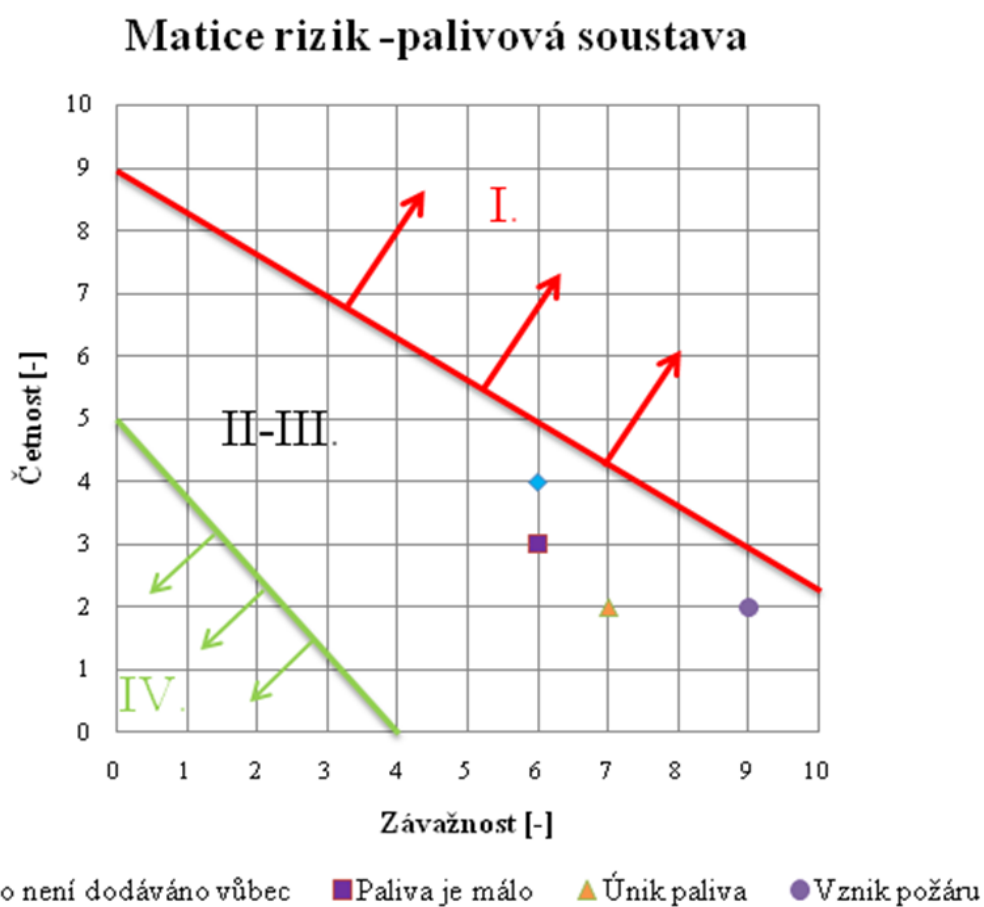


- 1 – Palivový filtr (zanesený filtr)
- 2 – Škrtková klapka (přidření mechanismu)
- 3 – Palivové vedení (netěsnost)

Obr. č. 21: Posouzení redukce rizika palivové soustavy

4.3.3 Matice rizik palivové soustavy

V následující matici rizik palivové soustavy obr. č. 22 lze vidět, že všechny čtyři vrcholové události (palivo není dodáváno vůbec, paliva je málo, únik paliva, vznik požáru) spadají do přípustné oblasti třídy rizika II. - III. Bude proto doporučeno provádět navržená opatření pro palivovou soustavu, kapitola 4.3.2.



Obr. č. 22: Matice rizik palivové soustavy

5. Závěr

V úvodní části byla provedena analýza platných technických pravidel formule SAE z hlediska rizik. V této kapitole byly popsány požadavky na konstrukci rámu z hlediska bezpečnosti, požadavky na kokpit řidiče, brzdy a chlazení.

V práci byla popsána a provedena FTA analýza, tzv. analýza stromů poruch. Byla aplikována na tři soustavy formule. První byla brzdová soustava, u níž byly zkonstruovány stromy poruch pro následující vrcholové události, kdy formule nebrzdí vůbec, brzdí málo nebo brzdí nesouměrně. Druhým byla chladicí soustava, u které byly zkonstruovány stromy poruch pro vrcholové události, kdy soustava chladí málo, nechladí vůbec, uniká chladicí voda, popř. dojde k opaření řidiče. Poslední z řešených soustav, pro kterou byly zkonstruovány stromy poruch, je soustava palivová. V tomto případě bylo přihlédnuto k možnému vzniku vrcholových událostí, jako jsou únik paliva, vznik požáru, stav, kdy paliva je málo nebo není vůbec.

Konstruování všech stromů poruch bylo vždy rozvíjeno postupně až k primárním událostem.

Na analýzu FTA následně navazuje FMEA analýza, řešící primární události jednotlivých uvedených vrcholových událostí. Byly zjištěny způsoby poruch, jejich důsledky a příčiny. Pro tuto oblast byla mnou navržena kritéria hodnocení významnosti rizik, pomocí kterých byly poruchy ohodnoceny. Na základě ohodnocení se následně vypočítala hodnota RPN, značící významnost rizik veškerých poruch. Tímto bylo zjištěno, do které ze tříd rizika je porucha řazena. Výsledná hodnota pak byla porovnávána se stanovenými hodnotami RPN pro danou oblast a bylo zjištěno, zda porucha patří do oblasti zanedbatelného rizika, přípustného rizika, nežádoucího rizika nebo rizika nepřípustného. Spadala-li do jiné z oblastí, než je zanedbatelné riziko, bylo vždy navrženo opatření.

Díky provedeným analýzám se ukázalo, že nejvíce riziková je brzdová soustava, při jejíž poruše může dojít až k usmrcení osob. U této soustavy byla zjištěna vysoká míra rizika poruchy pro prvky: píst, kotouč, brzdové destičky, brzdový třmen, brzdový válec, pedál, vahadlo a vedení.

Vzhledem k těmto výsledkům byla navržena určitá následující opatření. Po každé závodní sezóně je potřeba provést demontáž kotoučových brzd a kontrolu funkce pístů. Po proběhnuté sezóně se musí provést také revize pedálu s kontrolou vůle čepu a kontrola těsnosti brzdových válců. Po každém proběhnutém závodě je nutné provést kontrolu stavu opotřebení brzdových destiček, kotoučů, kontrolu těsnosti brzdových třmenů a vedení, a v neposlední řadě také revizi vahadla a dotažení jeho stavěcích matic.

U chladicí soustavy byla zjištěna vysoká míra rizika poruchy pouze pro termostat, vedení a oběhové čerpadlo. Pro termostat byla navržena kontrola funkce po každé závodní sezóně. Pro oběhové čerpadlo pak po každém závodě. Vizualní kontrola těsnosti vedení by měla být rovněž prováděna po skončení každého závodu.

U palivové soustavy byla zjištěna vysoká míra rizika poruchy pro palivový filtr, škrticí klapku a palivové vedení. Pro škrticí klapku bylo navrženo její pročištění po každém závodě a rovněž je potřeba po každém závodě provádět kontrolu těsnosti vedení. U palivového filtru je nutná jeho výměna, která je dostačující až po skončení každé závodní sezóny, jelikož četnost poruch je zde nízká.

Veškerá navržená opatření v této práci nevedenou samozřejmě ke snížení závažnosti jednotlivých poruch, ale značně zvýší možnost jejich odhalitelnosti. Při dodržování mnou navržených opatření lze tedy předejít i jejich vzniku. Zároveň pak včasné odhalení, vzniku poruchy zvýší bezpečnost provozu formule a minimalizuje riziko nedokončení závodu.

6. Seznam použité literatury:

- [1] ČSN EN 60812: *Techniky analýzy bezporuchových systému- postup analýzy způsobů a důsledků poruch* (FMEA) 2007.
- [2] Konzultace vedoucího diplomové práce, doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D., [13. 5. 2014]
- [3] Konzultace šéfkonstruktéra formule SAE, Ing. Jakub Šmiraus., [22. 4. 2014]
- [4] Virtuální vzdělávání v Dopravě. [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z:
<http://issuu.com/michdor/docs/m11text?e=7481937/2859112>
- [5] [online].[cit. 2014-03-14]. Dostupné z: <https://www.rollbarpadding.com/product/id-48>
- [6] CTU CarTech. [online]. [cit. 2014-03-18]. Dostupné z:
<http://www.carttech.cvut.cz/combustion/auto/fs.01/realizovane-projekty/brzdova-soustava>
- [7] Formula SAE. [online]. [cit. 2013-11-10]. Dostupné z:
<http://www.fsaeonline.com/content/2014%20FSAE%20Rules%20Final%208192013.pdf>

PODĚKOVÁNÍ

Tím chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce

doc. Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D.

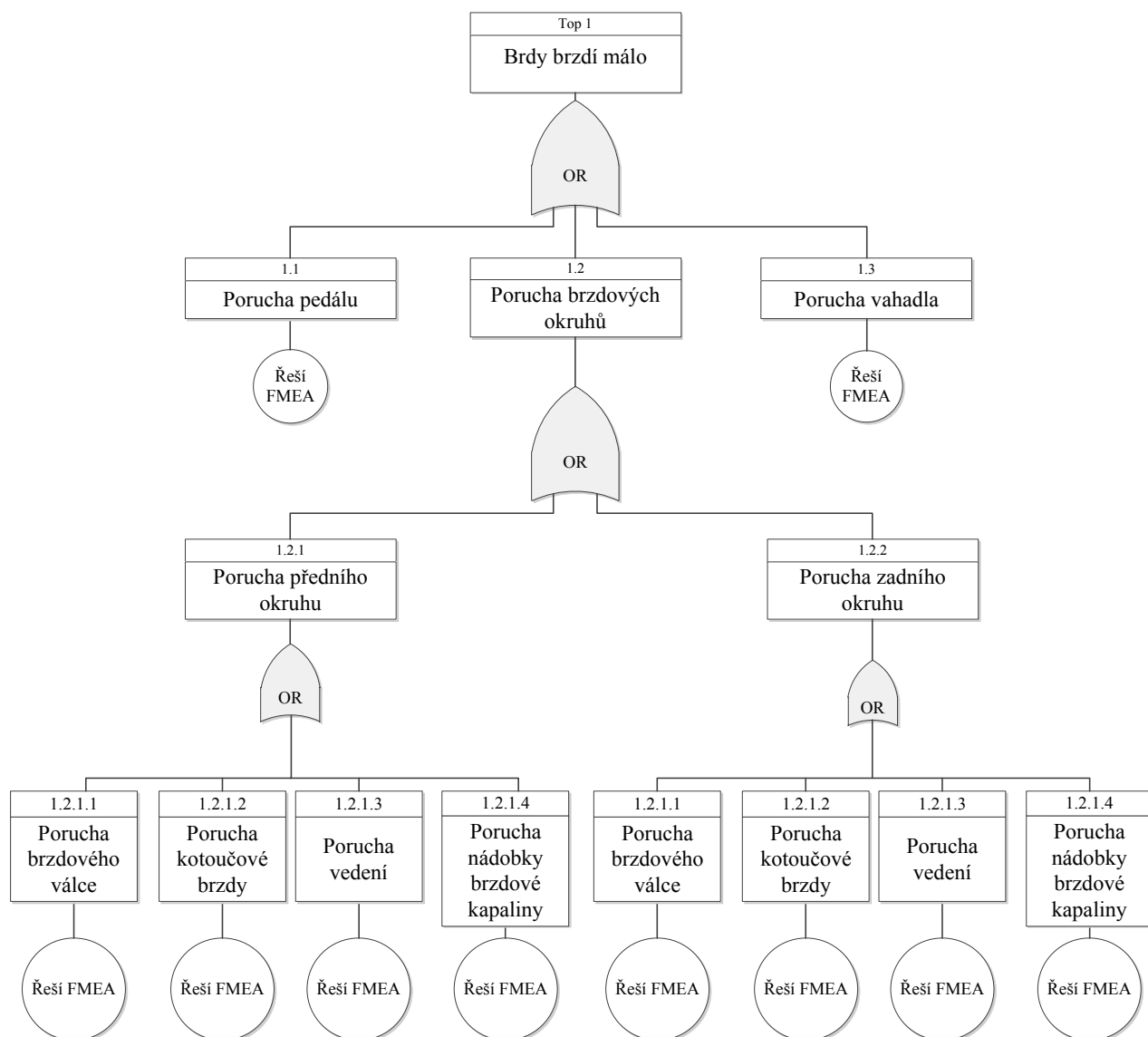
za jeho čas a informace, které mi pro napsání diplomové práce poskytl.

Vážím si toho a tímto mu děkuji.

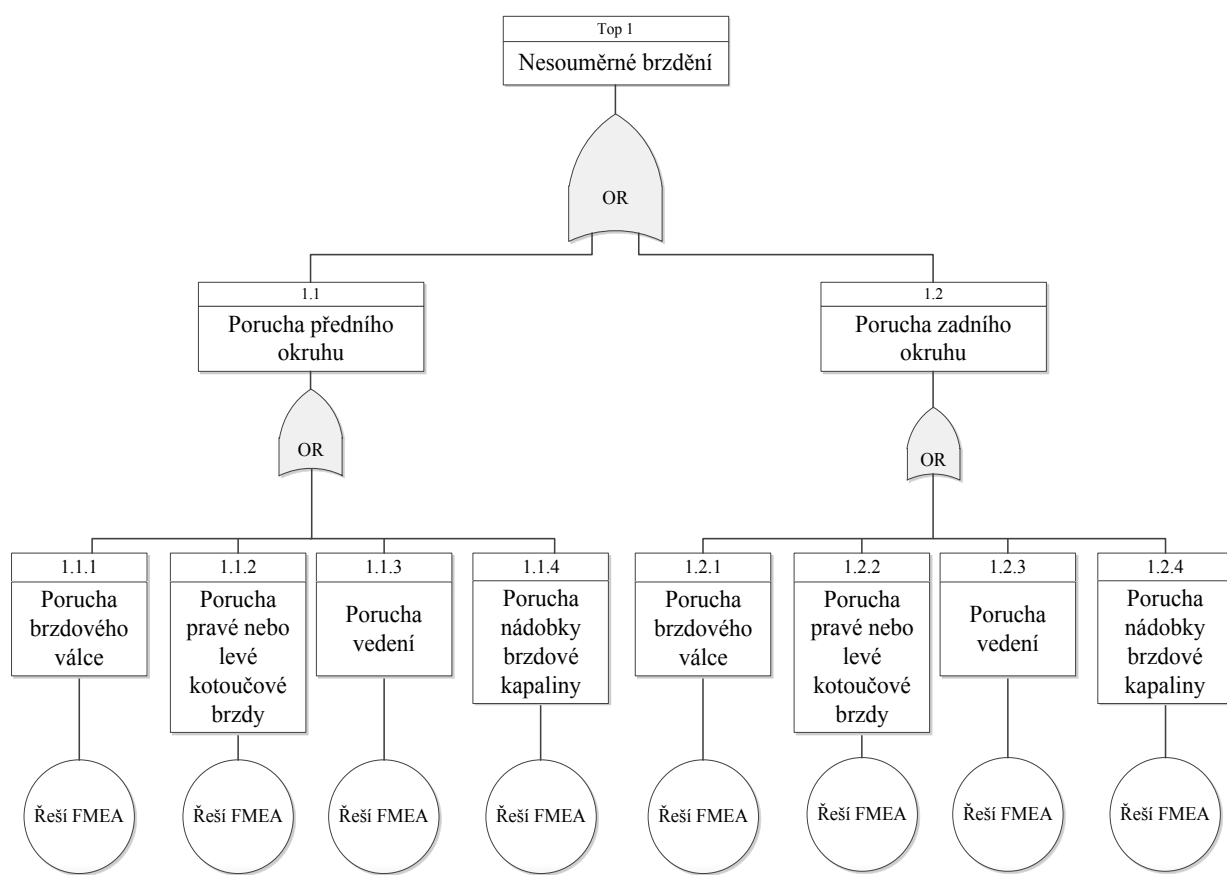
7. Přílohy

Příloha A - Stromy poruch pro brzdovou soustavu

Strom poruch, kdy brzdy brzdí málo

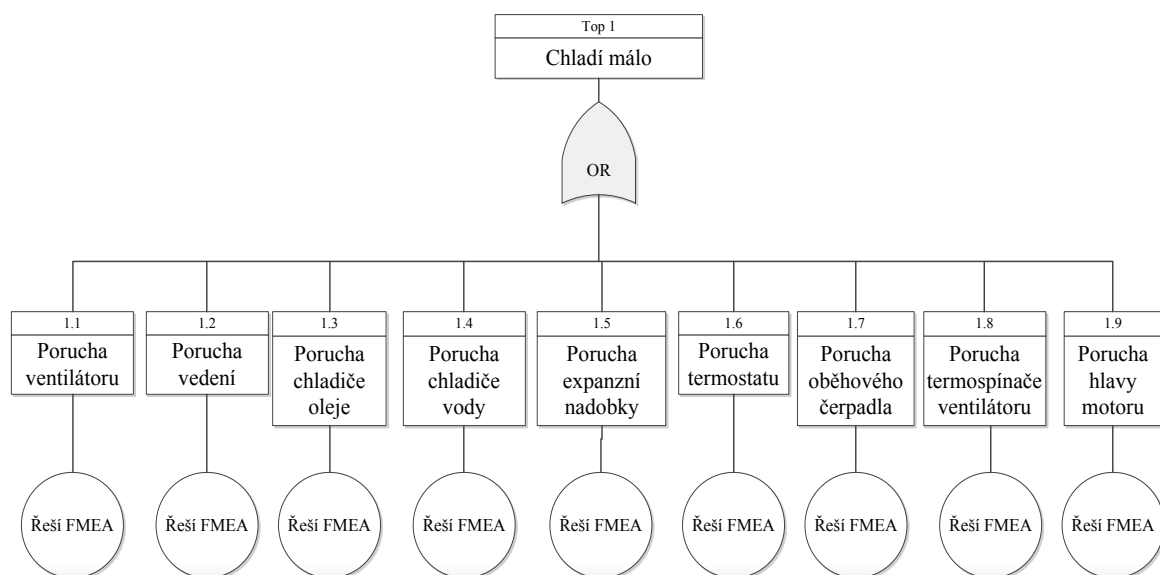


Strom poruch, kdy brzdy brzdí nesouměrně

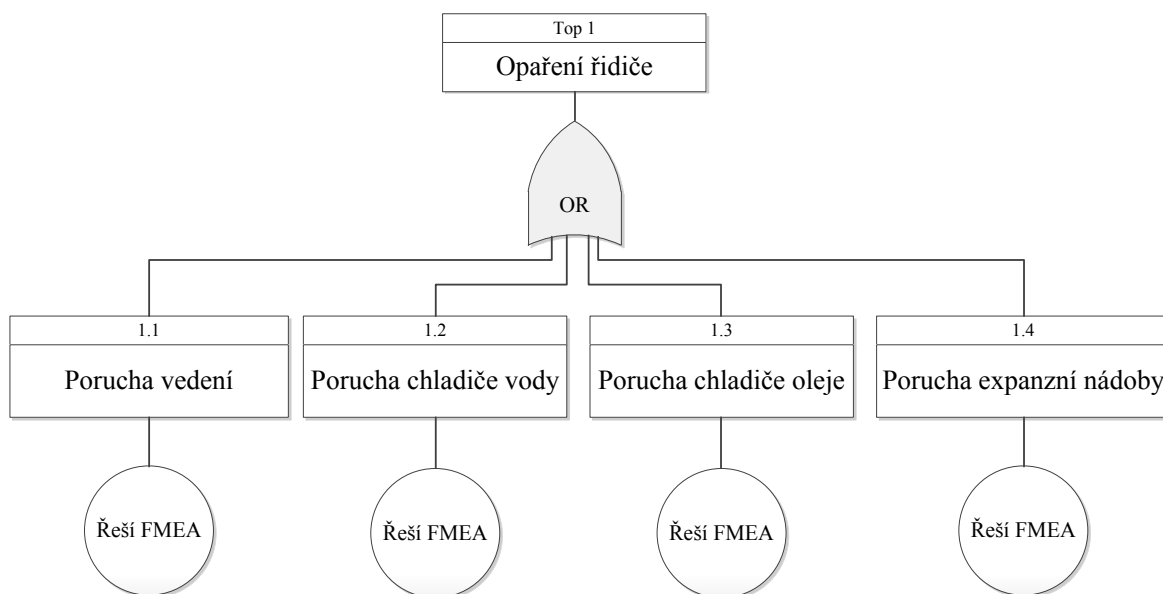


Příloha B - Stromy poruch pro chladicí soustavu

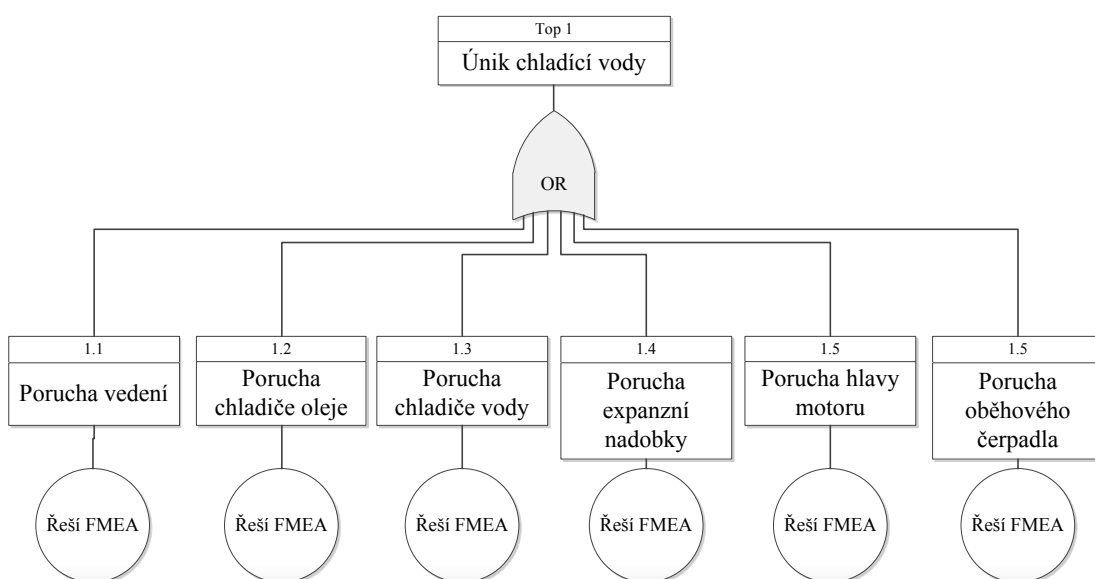
Strom poruch, kdy chladicí soustava chladí málo



Strom poruch, kdy hrozí opaření řidiče zaviněním chladicí soustavy

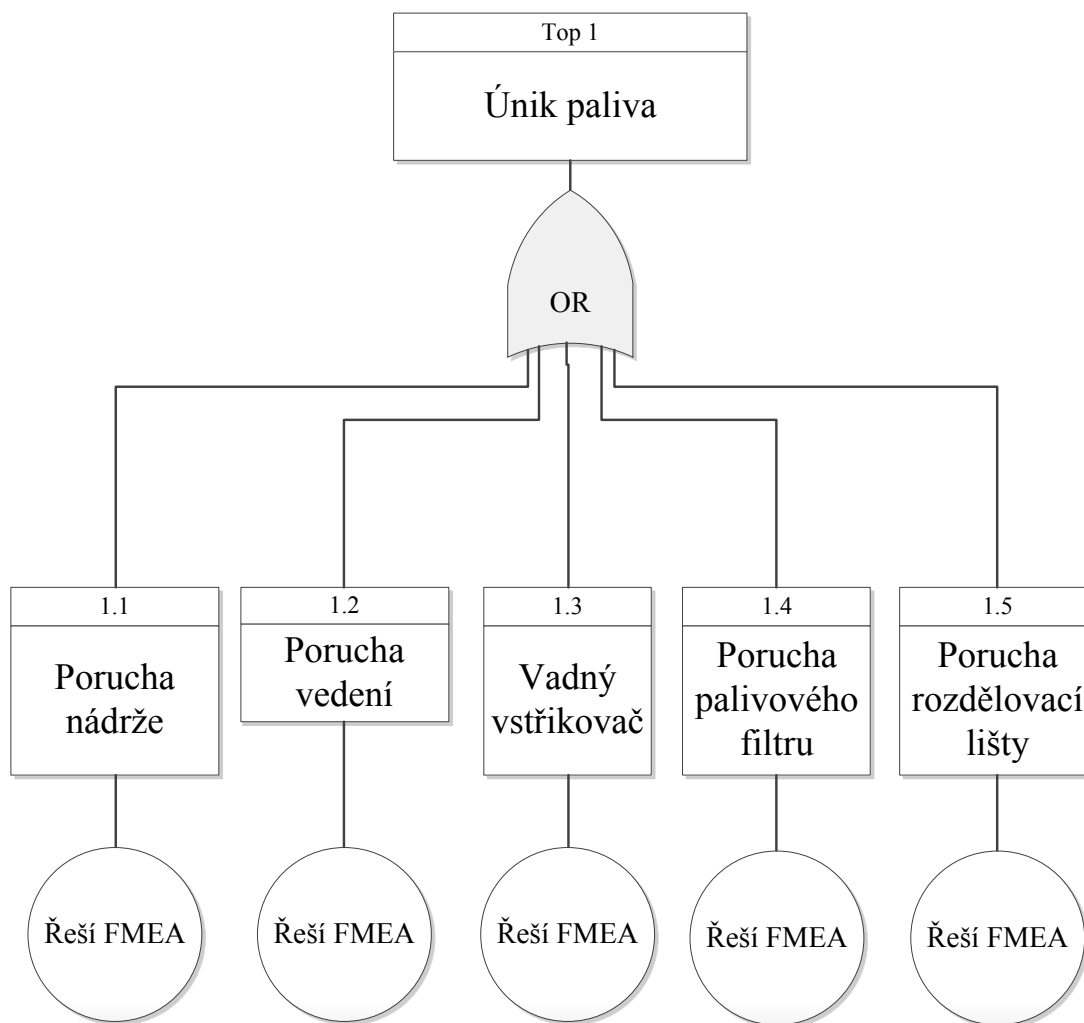


Strom poruch, kdy z chladicí soustavy uniká voda

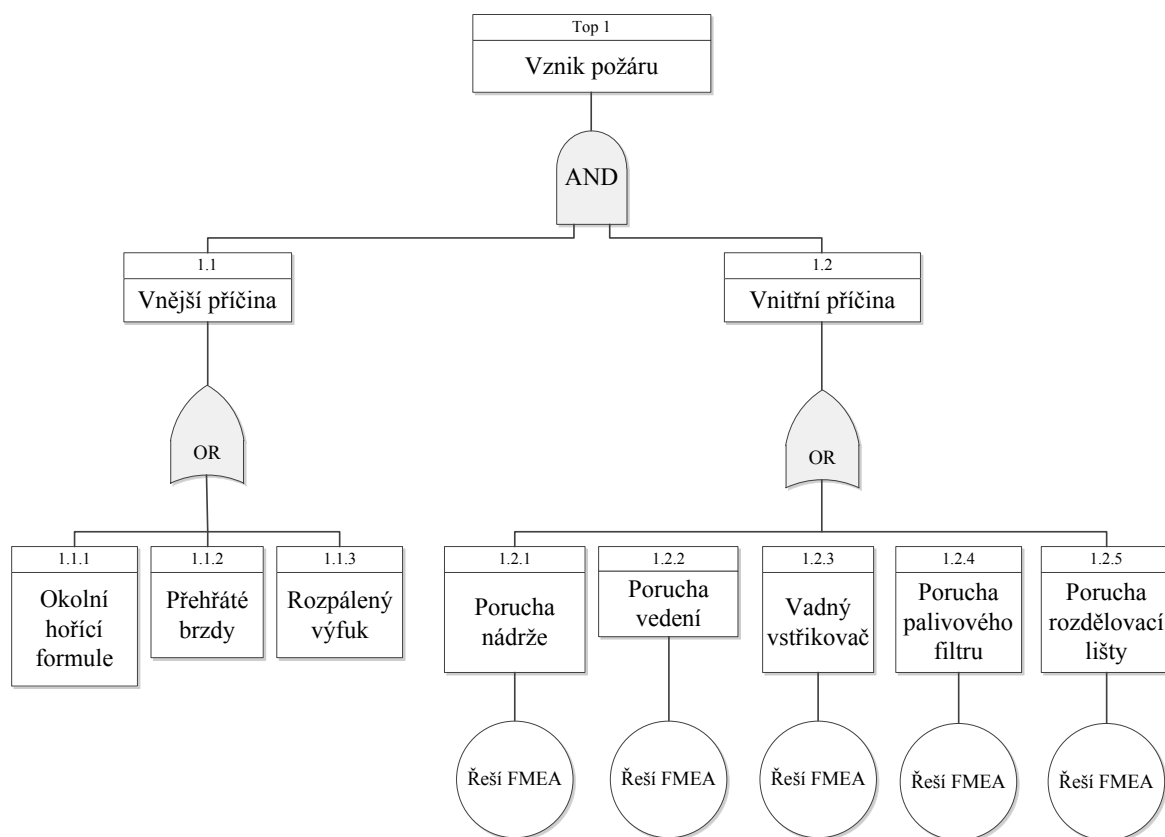


Příloha C - Stromy poruch pro palivovou soustavu

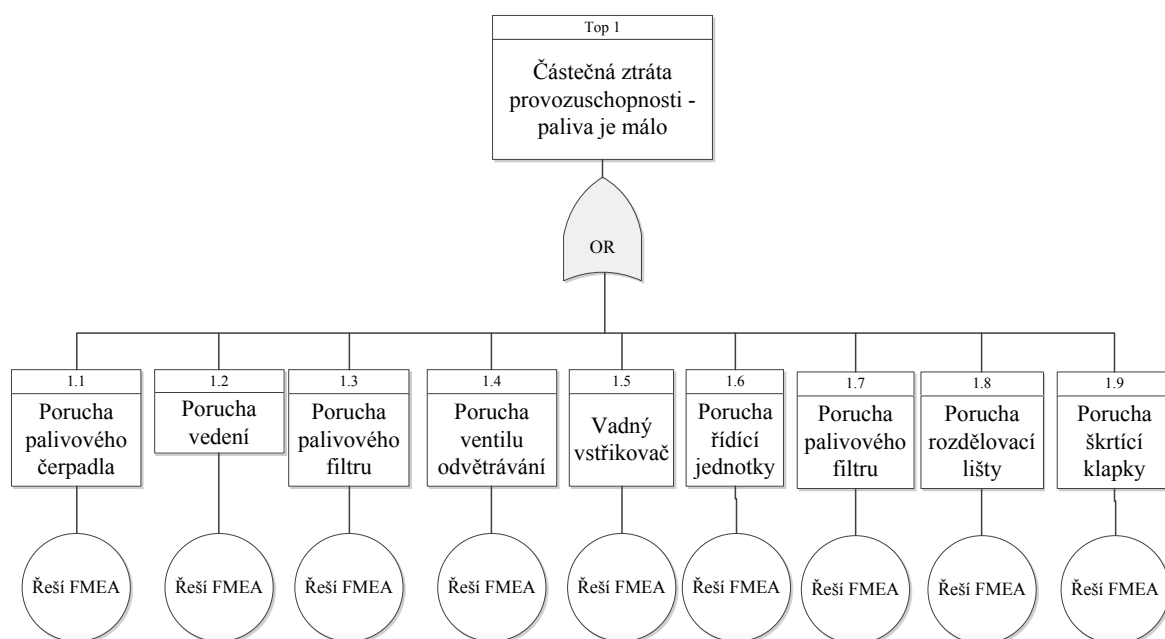
Strom poruch, kdy z palivové soustavy uniká palivo



Strom poruch kdy, důsledkem poruchy palivové soustavy vznikne požár



Strom poruch, kdy důsledkem poruchy palivové soustavy je dodáváno málo paliva



Příloha D - FMEA analýza pro brzdovou soustavu

Prvek-Funkce	Porucha	důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržené opatření	S	O	D	RPN
Brzdový válec - slouží k vytvoření tlaku v brzdovém okruhu	Netěsnost	Ztráta brzdného tlaku	10	Vadné těsnění pístu	2	Žádné	Střední	5	100	Po každé závodní sezoně vizuální kontrolu těsnosti	10	2	3	60
	Mechanická porucha vazby pedálu a válce	Ztráta brzdného tlaku	10	Porušení materiálu pedálu	2	Žádné	Vysoká	3	60	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržené opatření	S	O	D	RPN
Pedál -slouží k vyvnutí brzdné síly na hlavní brzdové válce	Deformace pedálu	Snížená schopnost brzdit	10	Porucha materiálu	1	Žádné	Střední	5	50	Žádné				
	Vůle čepu pedálu	Snížená schopnost brzdit	10	Nadměrné opotření materiálu	3	Žádné	Zvýšená	4	120	Kontrola vůle čepu po každé závodní sezoně	10	3	2	60

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržené opatření	S	O	D	RPN
Vahadlo (Překlopka) - slouží k nastavení brzdné síly mezi přední a zadní nápravou	Mechanická porucha	Změna poměru brzdného účinku	10	Porušení materiálu	2	Žádné	Střední	5	100	Po každém závodě provést vizuální kontrolu vahadla	10	2	3	60
	Samovolné přestavení vahadla	Změna poměru brzdného účinku	10	Uvolnění stavěcích matic	4	Žádné	Střední	5	200	Po každém závodě provést kontrolu dotažení stavěcích matic	10	3	2	60

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Nádobka brzdové kapaliny -slouží jako zásobník brzdové kapaliny	Netěsnost nádoby	Zavdušnění systému	10	Netěsnost vedení	1	Žádné	Střední	5	50	Žádné				
	Nízká hladina kapaliny	Zavdušnění systému	10	Nedostatek kapaliny	2	Žádné	Vysoká	3	60	Žádné				
	Přetlakování okruhu	Neustálý tlak v systému - samočinné brzdění	8	Zanesení oddechu nádoby	2	Žádné	Střední	5	80	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Vedení - slouží k přenosu hydraulického tlaku mezi jednotlivými prvky	Netěsnost	Zavdušnění systému, únik kapaliny	10	Netěsné spojení ve vedení, koroze vedení	5	Žádné	Střední	5	250	Po každém závodě provést vizuální kontrolu vedení	10	4	2	80
	Mechanické poškození	Zavdušnění systému, únik kapaliny	10	Vibrace rámu	5	Žádné	vysoká	3	150	Po každém závodě provést vizuální kontrolu vedení	10	3	2	60

Příloha E - FMEA analýza pro chladicí soustavu

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Chladič vody - účelem je co nejefektivnější ochlazování vody přicházející z bloku motoru	Porušení těsnosti chladiče	Prasklý chladič	8	Zvýšení tlaků v chladicí soustavě	4	Žádné	Téměř jistá	1	32	Žádné				
	Zanesení chladič nečistotami	Snížená schopnost chladit	7	Nečistoty v chladicí vodě	2	Žádné	Zvýšená	4	56	Žádné				
	Vysoké znečištění žeber chladiče	Snížené proudění vzduchu chladičem - přehřátí vody	7	Nečistoty v žebrech chladiče	3	Žádné	Velmi vysoká	2	42	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Ventilátor - musí v případě potřeby zajistit dostatečné proudění vzduchu chladičem	Vadný elektromotor	V případě potřeby nedostatečné proudění vzduchu	7	Spálené vinutí	1	Žádné	Mírná	7	49	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Termospínač ventilátoru -slouží ke snímání teploty kapaliny a spouštění ventilátoru v určitých teplotách	Vadné čidlo	Nesepne ventilátor	7	Přerušený obvod, zkrat čidla	1	Žádné	Mírná	7	49	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Vedení - musí propojit všechny prvky chladicí soustavy	Prasklé vedení	Ztráta chladicí vody	8	Zvýšení tlaků v chladicí soustavě	3	Žádné	Téměř jistá	1	24	Žádné				
	Netěsné vedení	Neustálé ubývání chladicí vody	7	Volná hadicová svorka	5	Žádné	Vysoká	3	105	Vizuální kontrola celého vedení po každém závodě	7	5	2	70
	Zanesené vedení	Nedostačující cirkulace chladicí vody-přehřátí motoru	6	Nečistoty v chladicí vodě	2	Žádné	Hodně mírná	8	96	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Oběhové čerpadlo -zajišťuje cirkulaci kapaliny	Zadřené ložisko	Nesprávná cirkulace vody a následné přehřátí motoru	7	Špatná těsnost mezi ložiskem a vodou	4	Žádné	Nízká	6	168	Kontrola správné funkce čerpadla po každém závodě	7	4	3	84
	Netěsnost	Únik chladicí vody	7	Špatná těsnost mezi čerpadlem a vedením	4	Žádné	Vysoká	3	84	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Expanzní nádobka - zachycuje změny objemu vody v soustavě způsobené změnou teploty	Únik tlaku z Nádobky	Nedokonalé chlazení motoru	4	Vadné víčko-tlakový ventil	2	Žádné	Hodně mírná	8	64	Žádné				
	Prasklá nádobka	Únik chladicí vody	9	Vadné víčko-neupouští tlak	2	Žádné	Téměř jistá	1	18	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Hlava motoru-spolehlivě chladit kritická místa	Netěsnost spalovacího prostoru vůči chladicí soustavě	Zvýšení tlaku v chladicím systému, únik chladicí vody	6	Přehřátí motoru	2	Žádné	Mírná	7	84	Žádná				
	Zanesená hlava motoru	Snížená schopnost chladit	6	Nečistoty v chladicí vodě	2	Žádné	Hodně mírná	8	96	Žádná				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Snímač teploty chladicí vody - slouží pro snímání teploty chladicí vody	Vadné čidlo	Ztráta informací o teplotě vody	3	Přerušení obvodu, zkrat čidla	2	Žádné	Vysoká	3	18	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Řídicí jednotka - sleduje činnost systému pomocí vstupů (senzorů) a pomáhá tak při řízení motoru	Vadná řídicí jednotka	Nesprávné řízení motoru (nesprávné informace pro řízení palivové soustavy.....)	6	Oxidace kontaktů, vedení, rušení signálu, zkrat, přechodový odpor,....	2	Žádné	Vysoká	3	36	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Snímač hladiny chladicí vody - úkolem je hlídat množství chladicí vody	Vadné čidlo	Nevydá signál o malém množství chladicí vody	4	Přerušený obvod, zkrat čidla	2	Žádné	Velmi slabá	9	72	Žádné				

Příloha F - FMEA analýza pro palivovou soustavu

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Nádrž- slouží jako zásobník paliva	Netěsnost palivové nádrže	Únik paliva	9	Netěsnost víčka nádrže, svaru nádrže	2	Žádné	Vysoká	3	54	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Palivové čerpadlo - slouží k dopravě paliva z nádrže	Zanesený sací koš čerpadla	Čerpadlo nevytváří dostatečný tlak	6	Nečistoty v palivu	4	Žádné	Vysoká	3	72	Žádné				
	Vadné čerpadlo	Čerpadlo nevytváří dostatečný tlak	6	Nadměrné opotřebení	4	Žádné	Vysoká	3	72	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Rozdělovací lišta paliva- dávkuje palivo mezi jednotlivými vstřikovači	Zanesená rozdělovací lišta	Nesprávné dávkování paliva	6	Nečistoty v palivu	2	Žádné	Nízká	6	72	Žádné				
	Netěsná rozdělovací lišta	Únik paliva	6	Vadné těsnění mezi vstřikovačem a lištou	3	Žádné	Vysoká	3	54	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Palivové vedení- propojuje všechny prvky palivové soustavy	Netěsnost	Únik paliva	9	Volná hadicová svorka	4	Žádné	Vysoká	3	108	Kontrola těsnosti palivového vedení po každém závodě	9	3	2	54
	Mechanické poškození	Únik paliva	9	Vibrace rámu	3	Žádné	Velmi Vysoká	2	54	Žádné				
	Zanesené	Snížený průtok paliva	5	Nečistoty v palivu	1	Žádné	Mírná	7	35					

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Vstřikovač-vstřikuje palivo do válců	Zanesený vstřikovač	Nepravidelný chod motoru	6	Nečistoty v palivu	2	Žádné	Nízká	6	72	Žádné				
	Vadná elektronická část vstřikovače	Nefunkční vstřikovač	6	Závada ovládací elektroniky	2	Žádné	Nízká	6	72	Žádné				
	Vadná jehla	Špatné rozprašení paliva, vstřikovač ukapává	6	Nekvalitní palivo, opotřebení	2	Žádné	Nízká	6	72	Žádné				
	Netěsnost mezi vstřikovacím ventilem a sacím potrubím	Přísávání vzduchu, únik paliva	6	Vadné těsnění	2	Žádné	Střední	5	60	Žádné				
	Netěsnost mezi rozdělovací lištou a vstřikovačem	Únik paliva	6	Vadné těsnění	2	Žádné	Střední	5	60	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Škrtková klapka-slouží k regulování proudu vzduchu	Přidření mechanismu	Znemožnění plynulé regulace průtoku vzduchu	6	Zadření hřídele klapky, tělesa klapky	5	Žádné	Střední	5	150	Pročištění škrtkové klapky po každém závodě	6	1	3	18
	Nesprávný signál potenciometru	Nesprávné řízení motoru	5	Zkrat, opotřebená dráha potenciometru	3	Žádné	Střední	5	75	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Ventil odvětrávání-přepouští výpary z palivové nádrže přímo do sacího potrubí	Vadný ventil	Podtlak v nádrži	6	Ucpané vedení	2	Žádné	Střední	5	60	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Regulátor tlaku paliva -udržovat konstantní tlak v palivové soustavě	Vadný regulátor tlaku	Neudržuje požadovaný konstantní tlak	6	Nečistoty v palivu , unavená pružina	3	Žádné	Střední	5	90	Žádné				

Prvek-Funkce	Porucha	Důsledek	S	Příčina	O	Stávající opatření	Odhalitelnost	D	RPN	Navržená opatření	S	O	D	RPN
Řídicí jednotka -sleduje činnost systému pomocí vstupů (senzorů) a určuje tak potřebnou dávku paliva	Vadná řídicí jednotka	Nesprávné řízení palivové soustavy motoru, nesprávné informace pro řízení zapalovací soustavy	6	Oxidace kontaktů, vedení, rušení signálu, zkrat, přechodový odpor,....	2	Žádné	Velmi vysoká	2	24	Žádné				